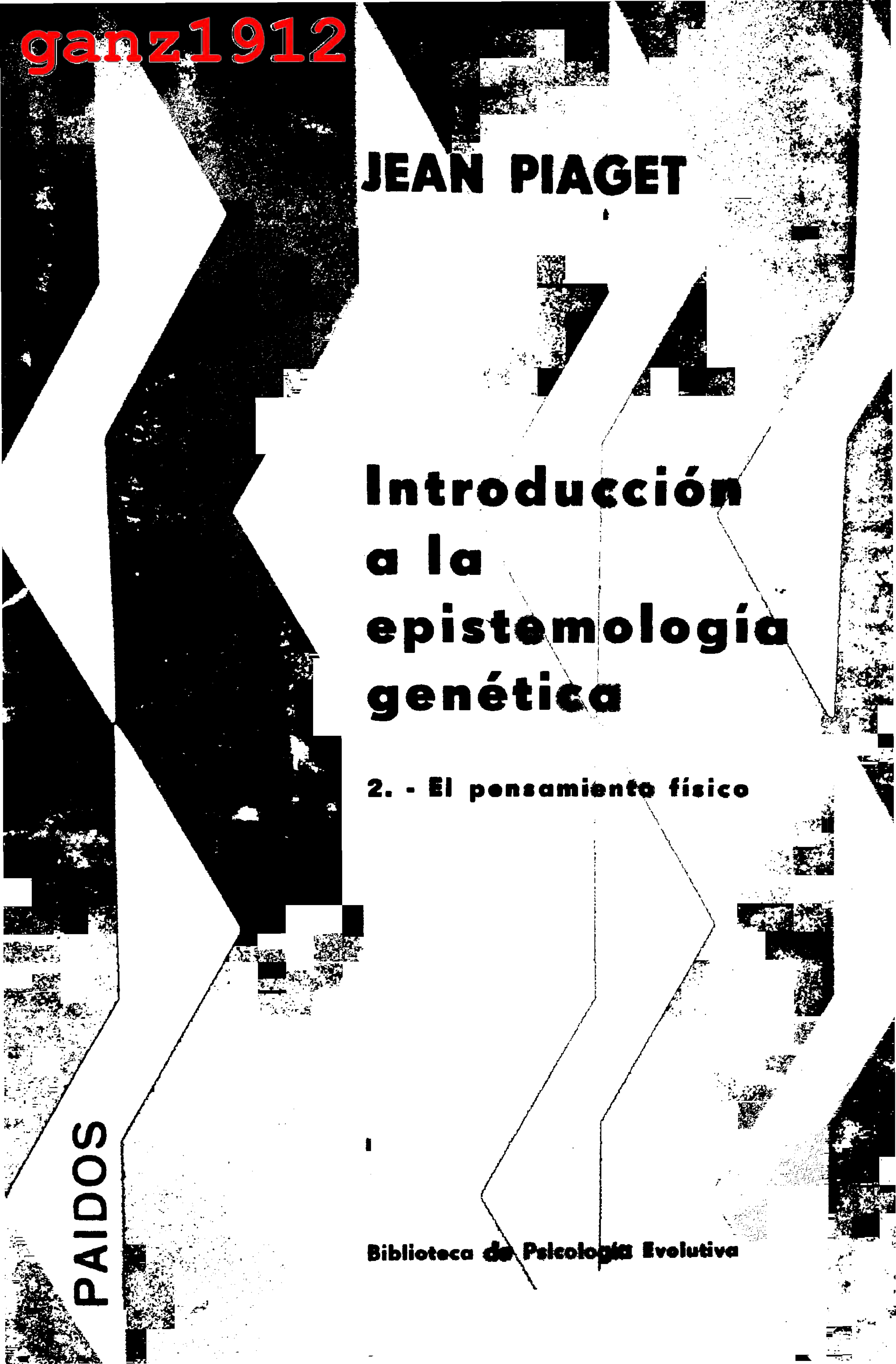

ganz1912
JEAN PIAGET
Introducción a la epistemología genética
2. - El pensamiento físico
Biblioteca de Psicología Evolutiva
PAIDOS

BIBLIOTECA DE PSICOLOGIA EVOLUTIVA

SERIE 1 GESELL

De la Yale Clinic of Child Development y del Gesell Institute of Child Development

Volumen 1

I

A. Gesell y C. Amatruda
EMBRIOLOGIA DE LA CONDUCTA

II

A. Gesell y F. L. Ilg
EL NIÑO DE 1 A 5 AÑOS

III

A. Gesell y F. L. Ilg
EL NIÑO DE 5 A 10 AÑOS

IV

A. Gesell, F. L. Ilg y L. B. Ames
EL ADOLESCENTE DE 10 A 16 AÑOS

V

A. Gesell
PSICOLOGIA EVOLUTIVA DE 1 A 16 AÑOS

SERIE 2

Volumen 2

E. Hurlock
PSICOLOGIA DE LA ADOLESCENCIA

Volumen 3

H. Werner
PSICOLOGIA COMPARADA DEL DESARROLLO MENTAL

Volumen 4

C. W Valentine
ANORMALIDADES EN EL NIÑO NORMAL

Volumen 5

Ch. Bühler, H. E. Jones y otros
EL DESARROLLO DEL NIÑO PEQUEÑO

Volumen 6

J. B. Walson, A. T. Jersild y J. E. Anderson
LAS EMOCIONES Y LA PERSONALIDAD DEL NIÑO PEQUEÑO

Volumen 7

M. Rosenberg
LA AUTOIMAGEN DEL ADOLESCENTE Y LA SOCIEDAD

Volumen 8

Otto Rank
EL TRAUMA DEL NACIMIENTO

Volumen 9

B. Inhelder y J. Piaget
DE LA LOGICA DEL NIÑO A LA LOGICA DEL ADOLESCENTE

Volumen 10

J. Piaget
INTRODUCCION A LA EPISTEMOLOGIA GENETICA
1. El pensamiento matemático

Volumen 11

J. Piaget
INTRODUCCION A LA EPISTEMOLOGIA GENETICA
2. El pensamiento físico

Volumen 12

J. Piaget
INTRODUCCION A LA EPISTEMOLOGIA GENETICA
3. El pensamiento biológico, psicológico y sociológico

Volumen 13

Ruth Fridman
LOS COMIENZOS DE LA CONDUCTA MUSICAL

Volumen 11

JEAN PIAGET

INTRODUCCION A LA EPISTEMOLOGIA GENETICA

2. El pensamiento físico



PAIDOS Buenos Aires

Título del original francés

INTRODUCTION À L'ÉPISTÉMOLOGIE GÉNÉTIQUE

II. La pensée physique

Publicado por

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

Versión castellana de

MARIA TERESA CEVASCO
VICTOR FISCHMAN

1ª edición. 1975

IMPRESO EN LA ARGENTINA

Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723

INDICE

SEGUNDA PARTE

EL PENSAMIENTO FISICO

EL PENSAMIENTO FISICO

Según L. Brunschvicg no hay solución de continuidad entre el conocimiento matemático y el conocimiento físico: ambos presuponen la misma colaboración entre la razón y la experiencia, colaboración tan estrecha, además, que ninguno de los dos términos de la relación podría ser concebido sin el otro. Según F. Gonseth, asimismo "no hay que franquear un umbral para pasar de la geometría a la física".[1] Para E. Meyerson, por lo contrario, se da el hecho de que, mientras la experiencia no es necesaria al matemático para creer en el rigor de sus razonamientos, el objetivo de la física consiste en la concordancia entre las teorías y la realidad misma: "hay por lo tanto, desde ese punto de vista, una distinción fundamental entre la matemática y la física".[2] Pero, según Meyerson, las "cosas" que persigue el físico retroceden a medida que éste cree alcanzarlas, porque sustituye sin cesar la realidad que se propone medir y explicar por una más profunda. De acuerdo con los partidarios de la epistemología unitarista vienesa, existe también una diferencia esencial entre el conocimiento experimental o físico y ese simple lenguaje tautológico que constituye la matemática; pero, los principios físicos más generales, según Ph. Frank, quien destaca el mérito de Poincaré por haber percibido el carácter "convencional" de aquéllos, tarde o temprano se reducen a simples tautologías o, dicho de otro modo, a cánones matemáticos.[3]

Desde el primer contacto con las epistemología física nos encontramos, pues, en presencia de la dificultad sumamente instructiva de delimitar los campos entre la física y la matemática: o reducimos los dos a uno solo, o nos empeñamos en distinguirlos, pero sin alcanzar una frontera estática. De hecho todos aceptan la necesidad de la experimentación en física y la inutilidad del laboratorio para la matemática (sea porque se niegue una función a la experiencia en esa disciplina, sea porque la experiencia se considere muy fácil y también muy rápidamente superada por la deducción); pero se necesita invocar un límite móvil cuando se busca caracterizar la diferencia entre la experiencia física y la construcción matemática.

1 F. Gonseth: *Les fondements des mathématiques*, pág. 115.

2 *Le cheminement de la pensée*, pág. 391.

3 Ph. Frank: *Le principe de causalité et ses limites*. París, Flammarion.

Este problema de fronteras se vuelve particularmente agudo cuando se trata de dar su lugar en el sistema de las ciencias a una geometría del espacio real, o geometría física, por oposición a la geometría deductiva y axiomática. Esa geometría de lo real debería existir por dos razones complementarias. Una de ellas consiste en que los propios axiomáticos como Hilbert, al rechazar el elemento intuitivo de la geometría axiomática, acuden a una geometría física: "En efecto, la geometría es sólo la parte de la física que describe las relaciones de posición de los cuerpos sólidos entre sí, en el mundo de las cosas reales." [4] La otra razón es que los esquemas espaciales construidos por la deducción son variados e incompatibles entre sí, cuando se trata de aplicarlos a los objetos mismos; naturalmente entonces se plantea el problema de saber si tal o cual sector de la realidad física está constituido por una estructura euclidiana o no, de tres o de más dimensiones, etc. Y, efectivamente, pese a las afirmaciones de Poincaré sobre la falta de sentido de tales problemas, que él considera reductibles a simples problemas de lenguaje, los físicos los han planteado y resuelto en la práctica a la espera de nueva información. Pero, ¿existe entonces una geometría experimental a la par de la geometría deductiva? En otras palabras, ¿puede encontrarse un capítulo de la física, consagrado únicamente a la determinación del espacio real y que encabezaría las exposiciones sistemáticas antes de introducir los conceptos de masa y de fuerza? Todos saben, por el contrario, que el problema del espacio real no puede separarse de las cuestiones de velocidad, de masa y de campos de fuerza, y que, para determinar "las relaciones de posición de los cuerpos sólidos entre sí en el mundo de las cosas reales", como lo pide Hilbert, o para verificar, como lo quería Gauss, si la suma de los ángulos de un triángulo geodésico o astronómico es igual o no a dos rectos, las medidas que deben efectuarse ponen en juego casi toda la física en lugar de precederla. El propio Einstein, que fue quien opuso con el máximo de lucidez la geometría axiomática a la geometría del mundo real, habla de "física geométrica" y no de geometría física, lo cual ya es un matiz apreciable. Cuando G. Bachelard titula una de sus importantes obras *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*, muestra también cuánto depende la determinación del espacio microfísico del conjunto de los caracteres propiamente físicos de ese nuevo universo que se nos ha abierto recientemente. Resumiendo, el sistema de las operaciones matemáticas se relaciona con toda la realidad física de un modo directo y no a través de dominios intermedios (*domaines-tampons*) que no pertenecerían ni a uno ni a otro de los campos delimitados.

Hay más aún. Mientras que la geometría del espacio real se sumerge de lleno en el conjunto de la física, las partes más generales de la física se han vuelto enteramente deductivas y dan lugar a formalizaciones análogas a las de la matemática. La mecánica racional constituye una estructura formalizada de ese tipo y se puede construir, al lado de la axiomática de la

[4] Hilbert: "La connaissance de la nature et la logique". *Enseignement mathématique*, t. XXX, 1931, pág. 29.

mecánica newtoniana, la axiomática de las mecánicas no newtonianas. Las transformaciones que intervienen en esas mecánicas pertenecen a la teoría de los grupos como las sustituciones algebraicas y las transformaciones geométricas, y el grupo de la cinemática galileana puede ser sustituido por el de Lorentz y puede construirse, como lo hizo la teoría de la relatividad restringida, una cinemática abstracta no galileana.[5] La mecánica tampoco podría suministrar una frontera fija entre la matemática y la física, pues aunque estos conceptos tomen en forma manifiesta algunos elementos de la experiencia, aquélla es rigurosamente matematizable.

No obstante, la asimilación completa de las dos disciplinas es imposible a pesar de la fisicalización del espacio real que responde a la geometrización de la gravitación y a pesar de la matematización cada vez más avanzada de la mecánica y de los vastos campos controlados por ésta. En efecto, a medida que nos alejamos de las cuestiones mecánicas para incursionar en el terreno de los fenómenos irreversibles, donde intervienen la mezcla y el azar, ese hermoso orden cede su lugar a las investigaciones en las que la actitud mental es completamente diferente. El cálculo es siempre posible y la deducción, probabilista desde ese momento, desempeña un papel siempre esencial; pero las teorías no se adelantan a la experiencia que las confirmaría luego en bloque, por así decirlo; ésta interviene a cada paso y constituye el verdadero hilo conductor del pensamiento y ya no meramente su control. Aun más, ella impone revisiones, a menudo fundamentales, de nuestros conceptos corrientes y la aplicación imprevista de instrumentos matemáticos que no estaban destinados primitivamente a ese fin. En el campo fisicoquímico y principalmente en el terreno limítrofe de la biología, en toda esa región del porvenir tan promisorio que constituyen la física y la química biológicas así como los confines de la microfísica y el estudio de lo viviente, el conocimiento sólo avanza por experimentaciones de tanteo, inspiradas pero no dirigidas en el detalle por hipótesis teóricas aún titubeantes.

En resumen, aunque el pensamiento físico provenga, en el momento de la partida, del pensamiento matemático, su curva sufre una inflexión muy progresiva y, desde el punto de vista de las orientaciones de conjunto del pensamiento científico, no puede ya considerarse dotada de una dirección simple y menos aún rectilínea. Con la matemática nos encontramos en presencia de una vección elemental de ese tipo: asimilación del objeto a los esquemas operatorios del sujeto, por la libre construcción de éstos y por la reducción de la verdad a las leyes de la composición de las operaciones mismas. Con la biología la situación se invierte casi por completo: la experiencia constituirá casi el único medio de conocimiento, y a la deducción se le asignará la parte más reducida. Pero, por una paradoja cuyo alcance trataremos de elucidar, la realidad biológica que así escapa a la deducción resultará ser esa misma realidad en la que se origina la vida mental y, por consiguiente, con ella, la propia deducción lógico-matemática. El pensamiento físico se sitúa, por su parte, en una posición

[5] Véase Gonseth: *Les fondements des mathématiques*, cap. IX.

intermedia. Es, como la matemática, una asimilación de lo real a esquemas cperatorios; entre éstos los más generales dan lugar a construcciones deductivas valederas (además de su acuerdo con la experiencia) por su coherencia intrínseca. Por lo demás, esa forma del conocimiento se enfrenta con realidades cada vez más complejas y, por lo tanto, más difícilmente asimilables; se produce por ende una inversión gradual de la situación a polos: aquel en que el objeto se disuelve en las operaciones del sujeto y expensas de la deducción y en provecho de la experiencia. Esencialmente ligado a lo real, el pensamiento físico se encuentra así oscilando entre dos aquel en que esas operaciones están sometidas a modificaciones más y más profundas para estar en condiciones de readaptarse sin cesar a un objeto que se desplaza y cambia de naturaleza a medida que se desvanecen sus apariencias.

El pensamiento físico plantea, pues, a la epistemología genética un problema esencial de desarrollo. La renovación prodigiosa de los conceptos provocada por el estudio de los fenómenos en escalas grandes y pequeñas —desde la teoría de la relatividad hasta la microfísica contemporánea— plantea, contradiciendo nuestras intuiciones más corrientes y al parecer las más importantes, una serie de interrogantes psicogenéticos del mayor interés. El principal es sin duda el de las relaciones entre el conocimiento y la acción efectiva, ejercida por el experimentador sobre la realidad. Sea cual fuere la inquietud que pueda experimentar el psicólogo o el epistemólogo en presencia de técnicas tan refinadas de la ciencia actual que le resultan imposibles de comprender en sus detalles, le importa a toda costa relacionar las transformaciones de los conceptos en uso en el conocimiento físico, con la génesis misma de las nociones correspondientes, de modo que pueda captar el proceso de adaptación del pensamiento al objeto material.

LA NATURALEZA DE LAS NOCIONES CINEMATICAS Y MECANICAS: EL TIEMPO, LA VELOCIDAD Y LA FUERZA

Las nociones matemáticas han surgido en nosotros como originadas por las coordinaciones generales de la acción, por oposición a las acciones particulares que diferencian a los objetos entre sí e inducen a abstraer sus propiedades como datos físicos. Ahora bien, puesto que las acciones especializadas deben estar coordinadas entre sí, como las más generales, todo marco matemático tiene un contenido físico posible, aun si el marco supera el contenido, y toda idea física constituida está referida a una coordinación matemática. Acabamos de ver por eso cuán móvil es la frontera entre lo físico y lo matemático.

Los conceptos cinemáticos y mecánicos plantean a ese respecto un problema de un gran interés. Constantemente se ha vinculado el destino epistemológico del tiempo con el del espacio y Kant en particular ha unido una de esas ideas a la otra como formas a priori de la sensibilidad. Ahora bien, hoy sabemos cuánto más compleja es su relación, por el hecho de la disociación del espacio en un marco matemático y en un espacio físico. El espacio físico es solidario con el tiempo, y lo es de un modo mucho más íntimo de lo que se suponía, puesto que ambos dependen de las velocidades. En cuanto al espacio matemático, es independiente del tiempo. Pero podríamos preguntarnos: ¿por qué permanece solo en su especie y no corresponde a un tiempo matemático puro? Si quisiéramos axiomatizar este último a modo de simple encuadre, sólo encontraríamos, en efecto, un caso particular de variedad espacial: la de un continuo unidimensional, con sus propiedades topológicas. Por el contrario, si quisiéramos introducir la simultaneidad de un modo diferente del de la coincidencia puntual y si tratáramos de definir una medida temporal, surgirían enseguida las cuestiones de velocidad que son de orden físico. ¿Por qué entonces la velocidad y el tiempo tienen un carácter físico, mientras que existe un espacio matemático? En otros términos, ¿por qué razón la construcción de los conceptos cinemáticos presupone una abstracción a partir del objeto, mientras que se puede construir un espacio por la coordinación de las acciones, abstrayendo los elementos necesarios solamente del mecanismo de dicha coordina

ción? Ese es uno de los problemas que debemos examinar en el presente capítulo.

A ello se agregan muchos otros. Por oposición a las coordinaciones generales de la acción, de las que provienen la lógica, el número y el espacio, las acciones particulares que intervienen en la construcción de los conceptos de tiempo, de velocidad y de fuerza parecen contener ya esas realidades como experiencia subjetiva: existe una duración interior, una experiencia kinestésica de la velocidad y, sobre todo, un sentimiento de la fuerza muscular propia, mientras que, en tanto la lógica y el número están ligados de un modo manifiesto a nuestra actividad, el espacio parece estar más alejado de nuestra naturaleza psíquica que el tiempo. Luego resulta paradójico referir el tiempo al objeto y el espacio al sujeto y parecería que, en una epistemología genética fundada sobre el análisis de la acción, el tiempo, la velocidad y la fuerza debieran emanar directamente de la actividad del sujeto. Pero aquí surge un nuevo interrogante: ¿en qué consiste la "experiencia interior" y cuáles son sus relaciones con la actividad del sujeto, que está en el origen de las coordinaciones lógico-matemáticas?

1. Planteo del problema. Las ideas físicas y especialmente los conceptos cinemáticos y mecánicos que estudiaremos en este capítulo, plantean a la epistemología genética un problema que corresponde en particular a sus métodos: problema tan antiguo, bajo su forma clásica, como la teoría misma del conocimiento, pero que se renueva, una vez traducido en términos de una génesis real. ¿Acaso los conceptos físicos provienen sólo de la experiencia —externa o interna— o presuponen una elaboración deductiva y de qué tipo? Tal es la forma tradicional de la cuestión. Pero, como los conceptos de tiempo, de velocidad, de fuerza, etc., que constituyen el punto de partida de la construcción física, son utilizados por el sentido común mucho antes de convertirse en científicos, el problema de su formación ha sido desplazado en el campo del pensamiento espontáneo: Hume, en cuanto a la experiencia exterior sobre todo, Maine de Biran en cuanto a la experiencia interior, Descartes, Leibniz e incluso Kant en lo que se refiere a la función de la elaboración racional, se remontan hasta el análisis del espíritu en general y no solamente del pensamiento científico cuando intentan fundamentar su teoría del conocimiento físico. Brunschvicg y Meyerson, a pesar de que apelan constantemente a la historia de las ciencias, llegan tarde o temprano a recurrir a las mismas fuentes (véase lo que el primero llama "teoría intelectualista de la percepción", y el segundo "el itinerario del pensamiento"), y un positivista tan estricto como Ph. Frank se ve obligado a ocuparse también del pensamiento espontáneo para poder explicar cómo la ciencia "coordina símbolos con los datos inmediatos".[1] Pero, mientras que en el campo del pensamiento científico, cada uno se atiene y con razón a seguir de la manera más exacta los pasos del proceso intelectual, en cuanto se trata del pensamiento común se cree liberado de toda exigencia metodológica precisa, porque imagina conocerla

[1] Ph. Frank: *Le principe de causalité.* Trad. Duplessis de Grenedan, Flammarion.

suficientemente sobre sí mismo. Ahora bien, la introspección está muy lejos de informarnos con respecto a los puntos esenciales. No podría apreciar ni el aporte respectivo de la experiencia y de la deducción en la elaboración de las nociones cinemáticas y mecánicas iniciales, ni siquiera la manera en que las estructuras lógicas y matemáticas elementales (por ejemplo la relación entre el tiempo y el espacio recorrido, en el caso de la velocidad) se aplican a lo dado. Tanto la lectura de la experiencia como su estructuración lógico-matemática dan lugar, en efecto, a procesos infinitamente más complejos de lo que puede suponer una conciencia cabal, y solamente una comparación sistemática entre la psicogénesis de las nociones y su desarrollo en las ciencias puede llegar a conclusiones epistemológicas valederas.

Tratemos pues de clasificar las soluciones posibles en cuanto a la formación de los conceptos cinemáticos y mecánicos, y en términos tales que se pueda responder tanto en el campo de la psicogénesis real, como en el de la evolución del pensamiento científico.

Una primera solución clásica consiste en atribuir todo conocimiento físico a la experiencia exterior. Pero, ¿qué significa semejante hipótesis? Más de una vez se ha mostrado que la lectura de una experiencia de laboratorio está lejos de reducirse a la simple comprobación de lo dado inmediato. Para atenernos a las nociones cinemáticas de sentido común, está claro que las meras determinaciones de una velocidad (uniforme o acelerada), de una duración o del instante preciso en que un objeto pasa ante un elemento de referencia, implican un mundo de coordinaciones anteriores y aun de interpretaciones. Las operaciones físicas más elementales presuponen así un conjunto de postulados que sería posible destacar y formalizar en diferentes grados.[2]

Ahora bien, si se compara la complejidad de esas operaciones, cuando se efectúan físicamente, con su misma simplicidad cuando son pensadas matemáticamente, se advierte el carácter quimérico e insostenible de toda interpretación basada sobre lo "dado inmediato". Nada es más fácil, por ejemplo, que introducir geométricamente la idea de congruencia entre dos longitudes, porque esa idea se abstrae directamente, no de los objetos congruentes, sino de las acciones coordinadas del sujeto, que consisten en superponer los objetos unos sobre los otros y en relacionar esas igualaciones por un juego de sustituciones transitivas (aun si las igualaciones y las sustituciones son físicamente aproximadas). Si, en cambio, se trata de una medida física de las longitudes, entonces surge una cantidad de problemas nuevos y extraños al pensamiento matemático: ¿Cómo asegurarse de que el segmento de recta material conserva su longitud durante el desplazamiento y cuáles son los caracteres de una barra indeformable? ¿Cómo estar seguros de la homogeneidad del espacio y de su isotropía? ¿En qué condiciones el espacio físico podrá estar provisto de elementos de referencia? ¿Cuál es el papel del "trabajo" realizado para efectuar el desplazamiento? Etc., etc. ¿A qué precio será lícito constituir una secuencia de congruencias transitivas, que serán físicamente sucesivas en el tiempo?

2 Esto es lo que se propuso hacer E. Stückelberg en una de sus últimas obras.

Ahora bien, si cada contacto con un hecho exterior requiere de ese modo un sistema complejo singular de relaciones interdependientes, que excluyen toda inmediatez, los partidarios del empirismo externo salen del paso suponiendo que las nociones cinemáticas o mecánicas, aunque se complican en función de la precisión adquirida en el laboratorio, resultan simplemente del afinamiento de conceptos groseros que el sentido común hubiera tomado directamente de la realidad en el transcurso de la experiencia cotidiana. Es ahí donde cada uno cree tener el derecho de entregarse a reconstituciones conjeturales de la génesis, según el aspecto de las cosas que más lo impresiona en su conocimiento ya formado. Por el contrario, el análisis sistemático de la psicogénesis de las ideas, en el transcurso del desarrollo del niño, pone de manifiesto un hecho de una importancia epistemológica decisiva: y es que el contacto con el objeto y con el "hecho" experimental es mucho más difícil todavía en el punto de origen de la evolución mental que en las etapas superiores y que, cuanto más primitivo es un pensamiento, tanto menos cerca está de lo simple "dado". Todos los problemas que plantea la lectura de la experiencia en el nivel del pensamiento científico vuelven a encontrarse así en una forma embrionaria, en el punto de partida de la elaboración de las ideas, y es en ese campo donde más se necesita el examen de las hipótesis empiristas. Desde los comienzos, el conocimiento no es, en efecto, una comprobación de relaciones ya preparadas, sino la *asimilación* del objeto a la actividad propia y la construcción de relaciones en función de esa asimilación, deformante primero, luego equilibrada poco a poco con una acomodación complementaria de los esquemas de asimilación a lo real. Es esa asimilación la que se trata entonces de analizar, desde sus fases iniciales hasta esa asimilación racional constituida por el pensamiento físico elaborado.

Pero entonces, si el conocimiento físico proviene de una asimilación de los objetos a los diversos modos de actividad del sujeto, ¿no será que el análisis genético confirmará simplemente una segunda solución clásica, la que hace derivar los conceptos elementales de la "experiencia interior"? Tanto los positivistas contemporáneos que reducen, desde Mach, lo dado inmediato a sensaciones o percepciones, como antaño Maine de Biran, en su intento de basar el concepto de fuerza y el de causa sobre el esfuerzo voluntario y las apercepciones del "sentido íntimo", nos dan el ejemplo de poder recurrir a la realidad subjetiva (interpretada según todos los matices, los más o los menos metafísicos).

Ahora bien, esta segunda solución, mucho más que la primera, requiere una discusión que atañe simultáneamente a la historia de las ciencias y a la psicogénesis de los conceptos. Corresponde a la historia del pensamiento científico mostrarnos si los elementos subjetivos, que han dejado a menudo sus huellas en los conceptos cinemáticos y mecánicos, han visto crecer o disminuir su importancia con los avances de la física. Esta argumentación empero no bastaría, pues aun suponiendo eliminada de un modo cada vez más radical toda adherencia subjetiva en el transcurso de su evolución, los conceptos físicos de tiempo, de velocidad o de fuerza podrían haber sido extraídos de simples lecturas de la experiencia interior del sujeto; lo

único que se hubiera hecho entonces es depurar y formalizar luego lo que al principio era pura comprobación introspectiva.

Sin embargo, como veremos, el análisis genético da aquí una respuesta tan desfavorable para el empirismo de la experiencia interior como para el de la experiencia exterior y, lo que es más importante aún, pone de manifiesto, desde las etapas más elementales, la dualidad esencial que opone la subjetividad como tema de conciencia egocéntrica a la actividad del sujeto como coordinación operacional que descentra la acción propia para adaptarla al objeto. Desde las cuestiones de simple génesis de las ideas, hasta las interpretaciones de la teoría de la relatividad, es sin lugar a duda la confusión de esa subjetividad egocéntrica y de esa actividad coordinadora del sujeto lo que más ha pesado en las discusiones de los epistemólogos: o la física se instala en el objeto como tal o sólo traduce las impresiones del sujeto, tal es el falso dilema en el cual se encierran como a propósito muchas mentes lúcidas. Empero el análisis de la génesis real de los conceptos muestra una cosa muy distinta. Al nacer de la acción ejercida por el sujeto sobre los objetos, los conceptos físicos elementales constituyen desde el comienzo la asimilación de los hechos a esa actividad. Dicha asimilación es entonces deformante, en cuanto se trata de acciones no suficientemente coordinadas entre sí y de las que el sujeto sólo toma una conciencia parcial e inadecuada: de allí deriva el egocentrismo de las ideas primitivas, fuente de la "subjetividad" que será eliminada en el curso de la evolución ulterior de aquéllas. Pero en la medida en que las acciones se coordinan y se agrupan entre sí, la actividad del sujeto, reforzada de ese modo y no disminuida, da lugar a una asimilación a esquemas que ya no son deformantes, sino adecuados a los objetos en función de las coordinaciones en las que estos últimos están integrados. Así la objetividad creciente de las ideas se debe a una actividad del sujeto, mayor que la subjetividad egocéntrica inicial, y es lo que produce la confusión habitual. El sujeto es tanto más activo cuanto más logra descentrarse o, mejor dicho, su descentración es la medida misma de su actividad eficaz sobre el objeto: por esta razón, como el avance del conocimiento equivale simultáneamente a eliminar la subjetividad egocéntrica y a acrecentar la actividad coordinadora del sujeto, resulta imposible separar, en ningún nivel, el objeto del sujeto. Existen únicamente las relaciones entre ambos, pero dichas relaciones pueden ser más o menos centradas o descentradas, y es esa inversión del sentido la que caracteriza el pasaje de la subjetividad a la objetividad.

Tal es la hipótesis que intentaremos verificar en el doble campo de la génesis y de la historia de las ideas. Emprendemos, pues, el camino de la tercera dirección clásica: el conocimiento físico no está originado únicamente por la experiencia exterior, ni sólo por la experiencia interior, sino por la unión necesaria entre las estructuras lógico-matemáticas, que nacieron de la coordinación de las acciones, y los datos experimentales asimilados a aquéllas. Pero ¿en qué consiste esa unión indisoluble de la deducción y de la experiencia? Subsisten aún tres posibilidades entre las cuales una elección válida sólo puede basarse simultáneamente sobre la psicogénesis y sobre el análisis de las ciencias.

La primera interpretación se la debemos, entre otros, a Comte y a los neopositivistas actuales: la deducción lógica o matemática se reduce a un cálculo, a un lenguaje o hasta a una sintaxis, destinados a enunciar y a anticipar los hechos, en cuanto dados en la experiencia. Pero la gran lección del análisis genético consiste precisamente en que, aun en el campo más precientífico y más embrionario, no existe lo dado inmediato: luego no podrían existir hechos anteriores a los vínculos que los coordinan; sean esas coordinaciones sensoriomotrices o mentalizadas en diversos grados, entrañan ya (como lo hemos visto en el volumen I) un elemento lógico-matemático, activo, reflexivo o formalizado.

Una segunda posibilidad es entonces la interpretación a priori: el elemento deductivo propio del conocimiento físico consistiría en encuadres ya hechos y grabados de antemano en la mente, y lo dado experimental vendría a llenarlos después. El estudio de los hechos genéticos muestra, en cambio, que durante las fases iniciales de formación de los conceptos, el marco se construye en correlación con la organización del contenido y consiste en la propia organización. Por una parte, las coordinaciones generales de la acción que constituyen, como lo hemos visto, el punto de partida de las formas lógico-matemáticas, se estructuran y se afinan a medida que se ejercitan, es decir sólo con referencia a las acciones especializadas (físicas por lo tanto) que se trata de hacer coordinar. Resulta de aquí que, antes de los 11-12 años, no existe siquiera, en el niño, una lógica formal que sea aplicable indistintamente a todo, sino que los diversos tipos de razonamientos (por ejemplo A = B; B = C luego A = C o A < B; B < C luego A < C, etc.) deben ser reconstruidos en la oportunidad de cada concepto nuevo que se trata de elaborar (cantidad de materia, peso, volumen, etc.).[3] Por otra parte no existe dato experimental que no presuponga, aunque fuera para su lectura, una coordinación lógico-matemática (de cualquier nivel, aunque fuera el sensoriomotor) a la cual ese dato está necesariamente referido.

El análisis genético nos llevará pues a verificar una tercera hipótesis que la historia del pensamiento científico admite a su vez: las realidades experimentales y las coordinaciones lógico-matemáticas se elaboran las unas en función de las otras, según un doble movimiento de externalización y de internalización conformándose al mismo proceso de conjunto. Ese proceso no es sino la descentración gradual de la cual acaba de hablarse. Los conocimientos físicos iniciales nacen de acciones relativamente aisladas, relacionando directamente el objeto con el sujeto y aprehendiendo así el objeto bajo su aspecto más exterior y más fenoménico, mientras que las relaciones que lo vinculan con el sujeto siguen siendo egocéntricas, es decir referentes a la actividad propia momentánea. El avance del conocimiento físico equivale, por el contrario, a coordinar las acciones entre sí refiriéndolas al sistema de conjunto; cada una de ellas se convierte en una transformación, entre otras, del sistema (el equilibrio de la coordinación entre

[3] Véase Piaget e Inhelder: *Le développement des quantités chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, 1941.

acciones es alcanzado cuando su composición alcanza el estado reversible, lo que les confiere el rango de operaciones). Ahora bien, esa coordinación consiste en una descentración de las acciones iniciales y eso ocurre en dos sentidos complementarios. Por una parte, en la medida en que las acciones se coordinan, el sujeto se desprende de su punto de vista egocéntrico, porque cada una de sus acciones se inserta entonces en un sistema que la engloba: la actividad coordinadora prima así sobre la acción directa ligada al objeto y esa actividad coordinadora se internaliza o se "refleja" en esquemas operatorios que son tanto mejor estructurados o formalizados cuanto más se alejan de las acciones concretas inmediatas. Recíprocamente el objeto se externaliza y se objetiva en cuanto desde ese momento se asimila a las coordinaciones generales de la acción o del pensamiento y no ya a la actividad propia momentánea. Así el egocentrismo y el fenomenismo reunidos desde un principio se disocian en una doble coordinación, interna o reflejada en estructuras lógico-matemáticas y externa o desplegada en operaciones físicas. Esta descentración general, al prolongarse en el transcurso de la historia de la mecánica misma, externaliza el objeto desprendiéndolo del antropomorfismo, pero lo asimila en cambio a estructuras matemáticas que están tanto mejor internalizadas por cuanto han sido formalizadas en un sentido contrario a la intuición empírica.

Para expresar de un modo más simple el proceso que queremos describir, diremos que la física se desantropomorfiza, o sea se libera del sujeto egocéntrico, mientras que la matemática se desconcretiza, luego se libera del sujeto aparente y que, sin embargo, ambas se ajustan mejor una a la otra por cuanto se orientan en sentidos contrarios. La explicación corriente consiste en decir entonces que el avance formal de una es simplemente el resultado de una esquematización o de una formulación más abstracta de los avances experimentales de la otra. En realidad, se trata por el contrario de una externalización y de una internalización complementarias, que derivan del hecho de que las acciones físicas especializadas se adelantan tanto más en lo real, cuanto más activamente están estructuradas sus coordinaciones lógico-matemáticas por el sujeto, gracias a una internalización que las generaliza desprendiéndolas de lo concreto.

2. La génesis de las intuiciones temporales. Cuando la teoría de la relatividad hizo tambalear la intuición, que se suponía primitiva, de la simultaneidad a distancia, se asistió a interesantes discusiones entre los defensores del sentido común y los autores que contribuían a ahondar uno de los conceptos fundamentales de nuestra representación del universo. H. Poincaré ya había mostrado en lúcidas páginas que no tenemos, en realidad, la intuición de la simultaneidad; ese concepto se construye gracias a un conjunto de relaciones que implican muchos otros conceptos físicos y la preocupación inconsciente de hacer lo más simple posible el mundo exterior. Por otra parte, H. Bergson había hecho un análisis del tiempo psicológico, un análisis que hiciera reflexionar sobre la complejidad de los conceptos temporales y que preparara sobre más de un punto las conclusiones de los relativistas. No obstante, por una reacción paradójica eviden-

temente producida por el deseo de mantener heterogéneos lo vital y lo inorgánico, Bergson intentó oponerse a esa extensión del tiempo bergsoniano a la física misma ¡y se convirtió en el defensor de la cinemática clásica! En efecto, si la velocidad de la luz constituye un absoluto que se toma como referencia para el cálculo de las otras velocidades y por ende de las duraciones, no se puede decir más, como lo había sostenido Bergson, que los fenómenos materiales permanecerán los mismos, al multiplicar todas las velocidades por un coeficiente común, en contraste con los fenómenos vitales y sobre todo mentales que estarían vinculados con un ritmo absoluto.

Es, por lo tanto, indispensable remontarse a las fuentes de las intuiciones del tiempo para comprender las formas más evolucionadas que ese concepto ha adquirido. Ese estudio se impone incluso desde dos puntos de vista: se trata, por una parte de elucidar si la idea de tiempo es anterior a la de velocidad o si la relación inversa se impone desde el comienzo como en las grandes escalas encaradas por la teoría de la relatividad; importa, por otra parte, determinar las relaciones iniciales entre el tiempo y el espacio, relaciones que serán naturalmente distintas según que la velocidad prime sobre el tiempo desde el principio o que el tiempo corresponda a una intuición primitiva.

Empecemos por una cuestión de método. En la mayoría de los autores se encuentra la misma actitud metodológica algo sorprendente que ya hemos comprobado en lo referente al espacio: se parte sólo del adulto y, para alcanzar los elementos primitivos, se estudian simplemente las raíces sensoriales externas o internas de las relaciones en cuestión, como si los marcos perceptuales no hubieran podido transformarse en el transcurso del desarrollo individual bajo el influjo de la inteligencia; después se salta directamente de la percepción al pensamiento como si entre ambos no interviniera un conjunto de construcciones generadas por la inteligencia sensoriomotriz, la inteligencia intuitiva o prelógica y las operaciones concretas. Ahora bien, sólo la investigación metódica de la evolución del pensamiento en el niño puede darnos una idea precisa acerca de las etapas intermedias entre la percepción y el pensamiento y acerca del pasaje de la acción a la reflexión. Cierto es que si bien muchos autores desdeñan la acción en favor de la percepción, no es a Bergson a quien podría hacerse semejante reproche, puesto que toda su epistemología está basada sobre la acción: acción sobre los sólidos en lo que atañe a los conceptos lógico-matemáticos, y acción vivida en lo que a duración mental y biológica se refiere. Solamente la serie de las antítesis demasiado elaboradas, inspiradas por su metafísica (entre la materia y la vida, el instinto y la inteligencia, etc.) le han impedido ver que toda acción entraña una lógica, no en función de los objetos a los que se aplica, sino en función de la coordinación misma de los actos: el esquematismo de las acciones que se encuentra en los orígenes de todo pensamiento se opone así a toda distinción radical entre lo intuitivo y lo operatorio y en particular entre el tiempo vivido y el tiempo construido por intermedio de nuestras acciones sobre la materia. Bergson ha visto muy bien el papel que desempeña el *homo faber* en la formación de la razón, pero ha restringido el alcance de ésta como el de aquél por no haber

buscado su origen común en la inteligencia sensoriomotriz misma, que asegura la continuidad entre la asimilación intelectual y los reflejos vitales más importantes.

Si nos liberamos al mismo tiempo de la filosofía bergsoniana y del intelectualismo estrecho que sólo admite percepciones y pensamiento, intentaremos hallar las trazas de la génesis del tiempo, como asimismo la génesis de todas las otras categorías esenciales, en el campo de la acción elemental; pero entonces podríamos hallarnos en contradicción con la hipótesis de una intuición primitiva de la duración. La acción consiste, en efecto, en coordinaciones motrices: es en función de esos movimientos, de su orden de sucesión y de su ritmo (o de la regularidad de sus velocidades) que se van a plantear los dos problemas centrales de la génesis del tiempo: el de las relaciones entre el tiempo y la velocidad y el de las relaciones entre el tiempo y la coordinación espacial. Pero se plantearán en los siguientes términos: la expresión métrica de la velocidad, o sea $v = e/t$, presenta esa idea como si consistiera en una relación construida entre dos términos simples, el espacio recorrido y la duración; esos términos de la relación son concebidos como medibles, pero sobre todo como dados en estado de intuiciones primeras y no de relaciones. De aquí resulta la simetría o la correspondencia estrecha que se ha establecido siempre entre el tiempo y el espacio y que Bergson recoge bajo la forma de una antítesis entre el tiempo interior, objeto de una intuición vivida o directa y el espacio exterior, producto de nuestras acciones sobre el objeto material. Sólo si el tiempo está vinculado a las acciones elementales y, por ende, a las coordinaciones motrices más primitivas, fuente de toda actividad mental, el problema se complica por el hecho de que la velocidad que interviene en el ritmo o la cadencia de los movimientos no podría constituir de entrada una relación métrica: ¿debe considerarse entonces como hecho primero el tiempo o la velocidad misma? En otras palabras, ¿existe una intuición de la velocidad que precede o acompaña a la del tiempo, o la intuición de la duración gobierna la de la velocidad? La solución propia de la cinemática clásica, así como la bergsoniana estarían acordes con ese segundo punto de vista, mientras que la cinemática relativista, al subordinar las nociones de simultaneidad y aun las de duración a la de la velocidad estaría en favor de la primera. Ahora bien, esa subordinación del tiempo a la velocidad podría muy bien corresponder a hechos genéticos que ya se observan en el nivel de las coordinaciones propias de la acción elemental y parecería así mucho menos sorprendente al referirse a la formación de la idea del tiempo en el niño que al compararse con los conceptos ya formados del adulto. En cuanto a las relaciones entre el tiempo y el espacio, la hipótesis de una subordinación de las intuiciones temporales a la de la velocidad equivaldría a concebir el tiempo como una relación, mientras que el espacio y la velocidad corresponderían a dos intuiciones más simples: sea $t = e/v$, si se quisieran expresar las cosas en lenguaje matemático. Pero, en el lenguaje cualitativo correspondiente a las primeras coordinaciones de la acción, eso consistiría en atribuir la formación del espacio a la organización misma de los movimientos, con independencia de sus velocidades (de ahí el carácter primitivo

de las conexiones espaciales), mientras que el tiempo constituiría la coordinación de las velocidades propiamente dichas, es decir que resultaría de un carácter de las acciones no condicionado por sus composiciones más generales, sino originado por las diferencias de ritmos y de cadencias. Más precisamente, la coordinación temporal se confundiría con la coordinación espacial mientras no intervinieran diferencias de velocidades (sea $t = e$), y aquélla empezaría a diferenciarse de ésta desde el momento en que las velocidades diferentes de los diversos movimientos necesitaran una coordinación suplementaria, que constituiría precisamente el concepto mismo del tiempo ($t = e/v$).

Examinemos pues desde esos puntos de vista los hechos genéticos e interroguémoslos sin tomar partido, es decir sin proyectar sobre ellos nuestras ideas adultas ya elaboradas. En particular, hagamos abstracción de toda relación métrica y tratemos de reconstituir las intuiciones temporales y las impresiones o nociones de velocidad sin decidir de antemano cuáles son primitivas. Comprobaremos entonces la indiferenciación primitiva de los conceptos espaciales y temporales, basados ambos sobre la coordinación de los movimientos, y la diferenciación gradual de los conceptos temporales en función precisamente de la intervención de las distinciones entre las velocidades. Vamos a comprobar en otros términos, un primer caso de pasaje de lo lógico-matemático a lo físico, en forma de una diferenciación de las coordinaciones generales de la acción (espacio) en función de acciones especializadas (regulaciones de velocidades y coordinaciones temporales).

En el plano puramente sensoriomotor, en primer lugar, es fácil advertir la conexión estrecha que vincula la construcción de las primeras relaciones temporales con la coordinación de los movimientos, tanto en el interior de los esquemas que caracterizan las costumbres y las "reacciones circulares" como en la asimilación recíproca de los esquemas que desembocan en el grupo práctico de los desplazamientos y en la noción del objeto permanente. En el interior de los esquemas mismos, en primer lugar, el orden de sucesión temporal aparece cuando el sujeto, en lugar de alcanzar un objetivo siguiendo simplemente el orden de los movimientos habituales según un dispositivo espacial ya localizado, se ve obligado a buscar previamente un intermediario que le sirva como medio usual: por ejemplo, cuando un bebé, al ver un objeto nuevo suspendido del techo de su cuna busca el cordón que cuelga de ese techo para sacudir el objeto percibido. En ese caso el orden temporal (que se podría expresar por la relación "tirar primero del cordón, después percibir la sacudida del objeto") está todavía casi indiferenciado del orden de sucesión espacial constituido por la conexión habitual de los movimientos, pero comienza a disociarse de él por el hecho de que se trata de reconstituir ese orden en lugar de seguirlo sin más ni más, y que se trata sobre todo de reconstituirlo bajo la presión de los objetos que están momentáneamente en desorden. Del mismo modo, las primeras impresiones de duración se vincularán, en ese nivel, con los sentimientos de espera o de éxito inmediato, es decir con la rapidez mayor o menor del desarrollo de las acciones. Resumiendo, el orden temporal se confundirá con el

orden espacial mientras los objetos no resisten al desarrollo de los movimientos y la duración permanecerá indiferenciada en el interior de ese desarrollo, en la medida en que las resistencias del objeto no lleguen a alterar las velocidades: el punto de partida es por lo tanto la coordinación espacial; la velocidad y el tiempo emergen bajo la forma de coordinaciones suplementarias ocasionadas por la intervención de sucesos exteriores a la coordinación inicial. En cuanto al tiempo relacionado con las acciones de la inteligencia sensoriomotriz (por oposición a los primeros esquemas habituales) veremos (capítulo V, § 1) cómo la búsqueda del objeto desaparecido comienza sin tenerse en cuenta sus desplazamientos sucesivos, percibidos no obstante unos después de otros, y ya hemos visto (vol. I, cap. II, § 5) por qué la permanencia de los objetos era solidaria con la organización del grupo práctico de los desplazamientos. Ahora bien, se sobreentiende que ese grupo práctico contiene en estado indiferenciado un sistema de relaciones temporales que coinciden con las sucesiones espaciales. Esto es lo que hizo decir a Poincaré que el tiempo precede necesariamente al espacio, puesto que los movimientos ligados en un grupo concreto son forzosamente sucesivos. Pero, desde un punto de vista psicológico, el orden temporal no existe mientras permanezca indisociado de la sucesión espacial, y la duración no podría dar lugar a ninguna conducta particular mientras no esté ligada con un comportamiento referido a la velocidad. Así es como las primeras organizaciones de desplazamientos, que interesan esencialmente a los cambios de posición, no implican una intervención de la duración. En cuanto al orden temporal, éste se encuentra estrechamente sometido al orden espacial: hemos descripto en otra oportunidad lo que habíamos denominado "series subjetivas", intervirtiendo el antes y el después pero en función de los desplazamientos previstos erróneamente, según los aciertos anteriores de la acción, y no del orden objetivo de los sucesos exteriores.[4] El tiempo sensoriomotor permanece así indiferenciado de la coordinación de los movimientos y sólo se disocia del espacio en función de la resistencia que oponen los objetos a esa coordinación (teniendo en cuenta el orden habitual de posición o por cambios imprevistos de velocidades).

Cuando se pasa del tiempo sensoriomotor al del pensamiento intuitivo, es esa indiferenciación de las relaciones temporales y de las relaciones espaciales la que constituye el carácter esencial de las ideas primitivas tanto acerca de la duración como del orden de los sucesos. Mientras que se trate, en efecto, del orden de sucesión de dos sucesos vinculados con el mismo movimiento (por ejemplo, posiciones sucesivas de un móvil único) o del intervalo de duración que los separa (por ejemplo, que se requiere más tiempo para ir de A a C que de A a B en el trayecto ABCD . . .), no hay dificultad, porque entonces el orden temporal corresponde al orden de

[4] Véase *La construction du réel chez l'enfant*, cap. IV. [Hay versión castellana: *La construcción de lo real en el niño*, Buenos Aires, Proteo, 1970.] Por ejemplo, siguiendo con la mirada un movimiento de traslación ABCD en el plano paralelo frontal, estando el segmento BC oculto por una pantalla, el bebé buscará el móvil en A apenas desaparezca en B, luego, después de haber seguido el movimiento parcial CD, lo volverá a buscar en A.

sucesión espacial y la duración se evalúa por la longitud del trayecto recorrido. Si además se trata de los sucesos referidos a movimientos de iguales velocidades, paralelos, de igual dirección y con los mismos puntos de partida en el espacio y en el tiempo, la dificultad no es mayor, pues se trata de dos casos del mismo movimiento, con una correspondencia visual continua. Pero en el caso de movimientos paralelos, de igual dirección, con un mismo punto de origen y con simultaneidad objetiva de los momentos de partida y de llegada, pero con velocidades diferentes, la situación cambia: no solamente la igualdad de las duraciones, a pesar de ser sincrónicas, entre los instantes de partida y de llegada se niega categóricamente, sino que también se niega la simultaneidad de los instantes de llegada. Vale la pena insistir sobre esos dos puntos, dada su significación epistemológica: la indisociación inicial del tiempo y del espacio y la razón de su disociación próxima por la influencia de la velocidad aparecen allí con toda claridad.

En lo que concierne a la simultaneidad, primero hay que distinguir cuidadosamente dos problemas: el de la simultaneidad perceptual y el del concepto, o relación intelectual, de simultaneidad. Desde el punto de vista perceptual, sólo rara vez existen juicios exactos de simultaneidad entre sucesos separados en el espacio, y la interversión del orden de sucesión temporal es frecuente, aun en el adulto (por ejemplo, en el caso de unas lamparitas que se encienden, o bien juntas, o bien a intervalos de uno a dos segundos, a dos o tres metros de distancia). Como los movimientos de la mirada, necesarios para hacer la comparación, también requieren su tiempo, se trata, en efecto de coordinarlos corrigiendo los errores temporales; ahora bien, esas compensaciones no se efectúan merced a un razonamiento, sino por la vía perceptual y motriz, lo que entraña muchas deformaciones a causa de la centración: el suceso centrado por la mirada en el momento en el que se produce se ve en general como anterior por falta de una descentración lo bastante rápida,[5] etc. Pero además del caso de la relación perceptual, se puede estudiar en el niño la relación intelectual de simultaneidad y es ésta la que nos interesa sobre todo. Se hará desplazar, por ejemplo, dos móviles que partan al mismo tiempo del mismo punto y que se detengan simultáneamente a distancias diferentes, o sea después de haber recorrido trayectos desiguales con velocidades desiguales, pero sobre trayectorias paralelas y siguiendo la misma dirección. Se hará de tal modo que no haya dificultades de percepción: el sujeto reconocerá así que, cuando el móvil A se ha detenido, el móvil B ha cesado en su movimiento y recíprocamente. No obstante, hasta los cinco a seis años el niño objeta que los dos móviles se hayan detenido "al mismo tiempo", y sostiene que uno de ellos ha dejado de moverse "antes" que el otro: luego el término "antes" significa, o bien "delante" o a veces "detrás", en el sentido espacial de esos términos, pero, según el sujeto, esa anterioridad espacial (según uno u otro de los sentidos del recorrido) es acompañada necesariamente por una anterioridad temporal y las dos significaciones permanecen indiferen-

[5] Véase Piaget: *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. París, PUF, cap. IV, § 4.

ciadas. Ahora bien, haciendo un análisis,[6] la razón por la cual el sujeto no admite la simultaneidad y sustituye el lenguaje temporal por el lenguaje espacial, tratando de mantener entre ellos la correspondencia, resulta muy simple: ¡la relación "al mismo tiempo" o "en el mismo instante", etc., todavía no tiene significación por falta de un tiempo que sea común a dos movimientos con velocidades diferentes y de un tiempo que pudiera estar desprendido de esos movimientos para luego englobarlos a ambos!

En otros términos, el sujeto comienza por colocarse en el punto de vista de tiempos propios de cada uno de los dos movimientos cuyas velocidades son diferentes y no relaciona todavía esas velocidades por medio de un tiempo común u homogéneo. El único tiempo accesible al niño es pues interior al movimiento mismo y constituye un solo ente con los caracteres espaciales que consisten en un cambio de posición. La expresión "al mismo tiempo" no tiene significación alguna para él, porque no existe todavía un "mismo tiempo" para movimientos diferentes. Esto no significa naturalmente que el niño sea relativista: por el contrario, lo es tan poco que no logra coordinar dos puntos de vista, apenas difieren las velocidades, y su tiempo propio es, no el de Einstein, sino aquel sobre el cual Aristóteles había construido una hipótesis con respecto a movimientos distintos. ¿Cuál es, entonces, la relación entre ese tiempo y el espacio? En ese nivel mental, si el sujeto no logra relacionar dos movimientos de velocidades diferentes por una coordinación temporal, tampoco relaciona las figuras del espacio por medio de un sistema de coordenadas o de una coordinación de los puntos de vista de la perspectiva: apenas conoce relaciones topológicas construidas por aproximaciones sucesivas, sin sistemas de conjunto, y se podría decir por lo tanto que si el tiempo está indiferenciado respecto del espacio, las evoluciones de ambos son paralelas y tienen la misma significación epistemológica. Pero el problema es un poco más complejo. Por una parte, como lo hemos visto, toda coordinación lógico-matemática atañe desde un principio a las acciones físicas. No es sorprendente, pues, que la coordinación espacial de los movimientos englobe, desde el principio, un elemento temporal, puesto que todo movimiento real tiene una velocidad e implica así un orden de sucesión de las posiciones en el tiempo y un encadenamiento de las duraciones. Pero ese elemento temporal no es, por ese mero hecho, uno de los factores de la coordinación espacial y, mientras no intervengan las diferencias de velocidad, las relaciones temporales repiten simplemente la coordinación espacial por una correspondencia término a término (entre las sucesiones y entre las duraciones y los espacios recorridos); incluso se diferencian tan poco que acabamos de comprobar la incomprensión de la relación de simultaneidad cuando las velocidades son distintas. El verdadero problema no es entonces el que plantea la indiferenciación inicial, sino el del proceso de la diferenciación ulterior: el tiempo homogéneo ¿se construirá acaso a la manera de los sistemas de coordenadas o de proyecciones espaciales, por simple coordinación de las acciones del sujeto, o, por

[6] *Ibid.*, cap III y IV.

el contrario, presupondrá una interacción más diferenciada entre esas acciones y los objetos mismos? Se ve enseguida que esta última pregunta equivale a preguntarse si la intervención de la velocidad atañe a las coordinaciones generales de la acción o a la necesidad de componer la acción con las cualidades físicas de los objetos.

Hacia los seis años el niño llega a reconocer la simultaneidad de los momentos de llegada de dos movimientos cuyas velocidades son distintas. Pero (y eso muestra por cierto que sus respuestas no se originan por una confusión puramente verbal del tiempo y del espacio) no deja de concluir por ello que hay desigualdad entre duraciones objetivamente sincrónicas: reconoce que los móviles A y B han partido "al mismo tiempo" y se han detenido "al mismo tiempo", pero uno de ellos ha marchado "más tiempo" que el otro porque ha ido "más lejos". Luego el tiempo comienza a desprenderse del espacio, puesto que la simultaneidad es adquirida entre puntos diferentes alcanzados por movimientos de velocidades diferentes. Pero esa coordinación temporal sólo interesa a los puntos de llegada y no se generaliza a todos los instantes y los puntos del recorrido, de manera que las partidas y las llegadas pueden ser reconocidas como simultáneas sin que los intervalos lo sean y sin que sean iguales las duraciones intermedias. En cuanto a la velocidad, veremos enseguida que, lejos de ser considerada como una relación entre el tiempo y el espacio recorrido (puesto que no hay todavía un tiempo independiente salvo en lo que se refiere a los puntos de llegada), ella misma es concebida en términos de orden espacial: se reduce a la intuición de "sobrepasar". Por ende, no hay nada contradictorio para el sujeto en que uno de los móviles se desplace más rápidamente que el otro, o sea más lejos, se detenga en el mismo instante y sin embargo tarde más, puesto que el mayor espacio recorrido es a la vez la medida de la velocidad y del tiempo. Que la duración no sea concebida todavía como inversamente proporcional a la velocidad se comprueba por otra parte directamente, en ese nivel: si un móvil va más rápido toma más tiempo, dice el niño, y llega a menudo a sostener que al correr él mismo de la escuela a su casa invierte más tiempo que al caminar lentamente. Por consiguiente, una de dos: o bien las duraciones son en realidad iguales, y "más tiempo" significa entonces un espacio recorrido mayor; o bien la duración del movimiento más rápido ha sido más corta y entonces "más tiempo" expresa un mayor trabajo realizado. Es por ende el trabajo realizado (el espacio recorrido es un caso particular) lo que constituye, al principio, el verdadero criterio del tiempo y de la duración psicológica, así como del tiempo físico.

Verifiquemos esta cuestión con un nuevo ejemplo. Se presenta al sujeto un depósito que se vacía por medio de un tubo en Y cuyas ramas dejan pasar el mismo caudal, y ambas son reguladas por un mismo grifo. Bajo cada una de las ramas se colocan pequeños recipientes A y B. Se abre entonces el grifo para dejar salir el líquido; después, cuando los dos recipientes han recibido el contenido suficiente, se detiene el líquido cerrando el grifo. En este caso, el problema de la simultaneidad se resuelve natural-

mente mucho antes que en el caso de las marchas simples, puesto que los movimientos son regulados por el mismo grifo. Pero, en lo que se refiere a las duraciones, solamente en el caso de que los dos recipientes A y B tengan la misma forma e iguales dimensiones, los tiempos parecerán iguales. En cambio, si esas condiciones no quedan cumplidas, se estimará que el líquido se ha escurrido durante más tiempo en un recipiente que en el otro "porque hay más agua", "porque es más alto" o hasta a menudo "porque el nivel del agua ha subido más rápidamente" al llenarlo. Es por ende nuevamente el trabajo realizado (por lo menos en apariencia) o el espacio recorrido lo que constituye el criterio de la duración.

Ahora bien, si el tiempo físico se va diferenciando así poco a poco del orden espacial, en lugar de ser primero puramente temporal y luego espacializado, ¿qué será del tiempo psicológico y cuáles serán las relaciones entre las dos clases de tiempo, interior y exterior? La opinión corriente es que la idea del tiempo deriva de la experiencia interior y que el tiempo físico no es más que el tiempo vivido más o menos transformado. Según Planck, por ejemplo, los conceptos físicos habrían nacido de la percepción subjetiva o percepción de las cualidades referentes al sujeto, y el desarrollo de esos conceptos en las ciencias resultaría de su desubjetivación: la noción del tiempo provendría así de la experiencia vivida de la duración y su evolución consistiría en eliminar el papel del sujeto. Según Bergson el tiempo ha surgido igualmente de la duración interior y el tiempo físico debe su constitución a una espacialización de la duración, eliminándose por otra parte los aspectos temporales más característicos. Planck aprecia por lo tanto esa espacialización que Bergson deplora, pero ambos concuerdan en cuanto a las líneas principales del pasaje del sujeto al objeto.

Ahora bien, si se comparan esas tesis con los hechos genéticos, se comprueba, por el contrario, que el niño construye su noción del tiempo subjetivo sobre el modelo del tiempo que atribuye a las cosas, como también la inversa. Hay allí un aspecto importante desde el punto de vista de la epistemología física en su totalidad. El tiempo (y volveremos a encontrar el mismo proceso en muchos otros dominios) no emana de la toma de conciencia propia del sujeto para encauzarse en la dirección del objeto, sino que procede de la acción que el sujeto ejerce sobre el objeto, lo cual no es equivalente en absoluto: y, como la orientación seguida por la toma de conciencia es centrípeta y no centrífuga, parte del objeto para remontarse al sujeto, es decir que las relaciones temporales están organizadas en las cosas antes de estarlo en la propia conciencia. Desde luego, el tiempo del objeto en su indiferenciación con respecto al espacio recorrido o al trabajo realizado no es un tiempo objetivo, sino un tiempo ligado a la acción que ejerce el sujeto sobre el objeto (y en particular a las primeras coordinaciones infralógicas y geométricas de los movimientos). Pero tampoco es subjetivo en el sentido corriente de la palabra: es *egocéntrico,* lo cual es una cosa muy distinta, es decir que, percibido o concebido en el objeto permanece referido a las intuiciones de espacio y de velocidad determinadas por la actividad propia y ese carácter egocéntrico no coincide ni con lo

subjetivo sensorial de Planck ni con lo subjetivo intuitivo de Bergson. En cuanto al tiempo racional, éste será operatorio, es decir construido por las acciones coordinadas y reversibles del sujeto (véase § 3) y lo será tanto en su forma externa como interna. Resumiendo, en lo que concierne al tiempo como a las otras ideas, la evolución va de lo egocéntrico a lo operatorio y, aunque constantemente aplicado al objeto (del cual extrae poco a pcco sus conexiones con la velocidad), presupone en todos los niveles una participación del sujeto, centrado primero sobre sus propias acciones, luego descentrándolas y componiéndolas entre sí de una manera coherente y reversible.

¿En qué consiste, en efecto, el tiempo propio o psicológico en los primeros niveles del desarrollo del pensamiento? Basta comprobar la confusión que produce la elección de las preguntas adecuadas que deben formularse al niño para comprobar el carácter tardío, refinado y aun artificial de la intuición de los "datos inmediatos de la conciencia". El niño es, empero, un ser que ni la vida social ni la acción utilitaria sobre los sólidos han deformado todavía. Su sentimiento de la vida tiene a veces una profundidad y una resonancia directa con la cual muchos poetas han querido reencontrarse. Sin embargo, no es en él en quien debe buscarse la intuición de la duración, pues —todos lo han observado— él vive en el presente, mientras que la duración se construye.

El tiempo propio del niño será entonces o la noción que tiene de su edad (tiempo biológico) o las evaluaciones que hará del tiempo vivido en el transcurso de tal o cual acción. Las ideas referentes a la edad no nos aportan nada nuevo, pero confirman de un modo singularmente preciso lo que hemos visto acerca del tiempo físico naciente. La edad también es evaluada por el espacio recorrido o el trabajo realizado, es decir, por la especie, el tamaño o el crecimiento: A es más joven que B "porque es más pequeño", pero esto no es una razón para que no se vuelva algún día más viejo que él. No hay, además, ninguna relación entre la edad como duración y el orden de sucesión de los sucesos, en particular de los nacimientos: que A sea más joven que B no implica que haya nacido después que éste.[7]

En cuanto a las evaluaciones del tiempo vivido en el transcurso de la acción, originan en el niño comprobaciones muy instructivas y esto ocurre por su semejanza con la construcción del tiempo físico mismo. Se pedirá, por ejemplo, que el sujeto ejecute ciertas acciones (repetir un movimiento, dibujar barras, etc.) durante un mismo tiempo, pero con un ritmo una vez lento, otra vez rápido: [8] en los pequeños el trabajo realizado será el criterio de la duración, de modo que la duración más larga corresponderá a un movimiento más rápido; solamente los grandes encontrarán como nosotros que el trabajo rápido ha parecido más corto y el trabajo lento, más largo. Parece que ese descubrimiento introspectivo está en el punto de partida de la inversión de las relaciones entre el tiempo y la

[7] *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*, cap. IX.
[8] *Ibid.*, cap. X.

velocidad, porque en la duración vivida durante el acto mismo, el tiempo se contrae (para la conciencia) en función de la velocidad, mientras que en la duración evaluada por la memoria, el tiempo bien llenado se dilata y los tiempos vacíos se reabsorben.

Resumiendo, en el tiempo psicológico como en el tiempo físico, la duración depende de las velocidades y del trabajo realizado, y es eso lo que ha observado P. Janet cuando ha relacionado el sentimiento del tiempo con las regulaciones de la acción, es decir con las aceleraciones y los frenados. Pero debemos precisar que las nociones temporales elementales no proceden del sentimiento interior, sino del resultado mismo de los actos, es decir de la frontera común al sujeto y al objeto. El tiempo primitivo es pues un tiempo físico, pero egocéntrico, en otras palabras, asimilado a la actividad propia y determinado tanto por ella como por los datos exteriores. Es de esa fuente indiferenciada de la que evoluciona el tiempo ulterior en la dirección de un tiempo físico objetivo y a la vez de un tiempo subjetivo cada vez mejor organizado por las operaciones de las que vamos a hablar. En fin, el tiempo procede de la organización de los movimientos y por ende está dominado desde el punto de partida por las coordinaciones espaciales; pero se diferencia del espacio en la medida en que intervienen las velocidades, es decir, una relación entre las acciones especializadas del sujeto y las resistencias mayores o menores de los objetos.

3. Las operaciones temporales. ¿Cómo se construirá, a partir de las intuiciones temporales elementales que acabamos de describir, el concepto de un tiempo homogéneo, común a todos los fenómenos externos e internos, de escurrimiento uniforme y susceptible de medida? Antes que ese concepto de un tiempo absoluto sea superado por la idea de un tiempo relativo respecto de las velocidades que caracterizan los puntos de vista de los observadores (y éstas referidas a su vez a la de la luz), la construcción de un tiempo homogéneo ya es el producto de una coordinación de las velocidades. Partiendo de una indiferenciación completa entre el tiempo y la coordinación espacial de los movimientos, el sujeto llega a distinguir, en efecto, en los movimientos mismos, un elemento de desplazamiento que sólo afecta al espacio y un elemento de velocidad que distingue entre sí los desplazamientos que por lo demás son equivalentes. Es la coordinación de esas velocidades la que va a diferenciar el orden temporal del orden de sucesión espacial, y las duraciones, de los caminos recorridos. Pero esa coordinación consiste en un conjunto de operaciones que empieza en la acción misma y que acaba en operaciones intelectuales. El problema epistemológico central, planteado por el desarrollo de esas últimas, consiste en determinar si son puramente lógico-matemáticas (y espaciales en particular), o si su forma análoga a la de las operaciones lógico-matemáticas recubre ya un contenido extraído del objeto. En otras palabras, en el lenguaje que hemos adoptado, la intervención de la velocidad ¿atañe también a las coordinaciones generales de la acción o presupone la organización de acciones especializadas, diferenciadas por lo tanto en función

de las propiedades físicas del objeto? Y en ese último caso, ¿cuál es la relación entre las coordinaciones lógico-matemáticas y las acciones diferenciadas?

Señalemos además el interés que presenta, para la epistemología física, el análisis genético de las operaciones temporales. Todos saben, en efecto, que la medida del tiempo se encierra en un círculo: basamos la regulación de nuestros relojes en ciertos procesos físicos cuyo desarrollo temporal es constante (tales son la regularidad de los movimientos astronómicos o el isocronismo de las pequeñas oscilaciones), pero, a la inversa, estamos seguros de esa constancia sólo gracias a las medidas efectuadas precisamente por medio de nuestros relojes. Resulta así que cuando los físicos tratan de apoyar la medida del tiempo en un reloj natural, se ven reducidos, o a invocar el conjunto de las leyes de la naturaleza cuya coherencia total presupone la permanencia de ciertos movimientos y por ende la regularidad de los flujos temporales, o a salirse de la física. Es por esta última opción por la que se ha decidido recientemente un físico de talento, E. Stueckelberg, al tratar de referir el tiempo físico mismo al tiempo psicológico. El tiempo mecánico, nos dice él,[9] suministra el entorno de los instantes en la continuidad de una misma trayectoria, pero no determina el sentido (o la dirección) del tiempo, puesto que las transformaciones mecánicas son reversibles. En cuanto al tiempo termodinámico, implica una dirección general, pero sólo en lo que concierne al conjunto del proceso estadístico expresado por el incremento probable de la entropía: los elementos mismos (es decir los átomos) permanecen sometidos, en el esquema de Boltzmann, al tiempo mecánico que está privado de orientación definida. En las fluctuaciones estadísticas, tales como las que caracterizan el movimiento browniano, pueden intervenir, en efecto, dos sentidos en el fluir del tiempo. Si pasamos a la microfísica actual, las trayectorias intraatómicas mismas están sometidas a fluctuaciones, lo que priva nuevamente al tiempo de un sentido único. Para obtener una orientación unívoca del tiempo físico, habría que disponer como reloj de un cuerpo infinitamente grande e infinitamente pesado que contuviera una infinidad de elementos. No existiendo tal cuerpo, sólo queda el tiempo biológico y la necesidad de encarar la vida como un todo (pues, en los detalles, volvemos a caer en las leyes físicoquímicas); en último análisis, será el tiempo psicológico el que nos suministrará la orientación absoluta que buscamos: es porque el universo se refleja en la conciencia y es vivido parcialmente, por lo que sus movimientos caracterizan en uno de los sentidos posibles un desarrollo temporal de sentido único. En efecto, el tiempo psicológico tiene sentido único porque, según E. Stueckelberg: 1º la memoria implica el entorno (los sucesos rememorados son más o menos próximos o alejados); 2º cada recuerdo abarca otros recuerdos, según una regresión sin fin: los recuerdos constituyen así inclusiones orientadas $a > b > c \ldots$, de tal modo que el recuerdo que no contiene otros recuerdos sea el más antiguo y el que contiene a todos los demás (a) sea

[9] E. Stückelberg: "La notion de temps". *Disquisitiones mathematicae et physicae*. Bucarest. 1942, págs. 301-307.

el más reciente. Sería entonces, en conjunto, el orden de inclusión de los "recuerdos de recuerdos" el que determinaría el fluir del tiempo.

Sea cual fuere el interés que tiene un físico en recurrir a la duración mental para apuntalar el sentido del tiempo universal, es difícil para los psicólogos aceptar semejante responsabilidad. Apenas si es posible, en efecto, admitir una inclusión espontánea de los recuerdos y si los sucesos se incluyen unos en los otros gracias a la memoria, es como resultado de operaciones propiamente dichas, pues los recuerdos no pueden seriarse por sí mismos. Ahora bien, esas operaciones que estructuran la evocación del pasado como estructuran lo dado, cualquiera que éste sea, se apoyan sobre el tiempo físico y sobre la organización del mundo exterior. En otros términos, no existen "recuerdos de recuerdos" en el sentido de Stueckelberg, o por lo menos sólo se trata de hechos excepcionales. Yo no recuerdo haber ido a Viena antes de conocer Cracovia porque en Cracovia tenía el recuerdo de Viena y porque actualmente tengo el recuerdo de ese recuerdo, mientras que en Viena no tenía aún el recuerdo de Cracovia y compruebo hoy la ausencia del recuerdo de ese recuerdo: recuerdo haber visto Viena antes de Cracovia, simplemente por un razonamiento que me permite deducir de mis conocimintos geográficos que para ir de Ginebra a Cracovia he pasado por Viena, mientras que al tomar el tren de Ginebra a Viena no he pasado por Cracovia. La memoria, o por lo menos la sucesión de los recuerdos en el tiempo, está hecha, en gran proporción, de reconstituciones razonadas: implica una actividad que prosigue en todos los niveles de la vida elemental (pero en un grado mucho menor en los niveles prelógicos, de donde resultan las lagunas y el desorden de nuestros recuerdos de infancia) y los "recuerdos inconscientes" mismos están influidos por semejante reconstrucción histórica. Ahora bien, ¿en qué se apoyan esos razonamientos y esa actividad? En el tiempo físico mismo y en el conocimiento físico de los movimientos, de las trayectorias, de las velocidades, etc. Si el físico no puede conferir un sentido de orientación al tiempo sin recurrir a la vida mental (por lo menos en su aspecto de actividad operatoria), el psicólogo tampoco llegará a orientar el tiempo interior sin invocar el tiempo físico. Esta interacción del sujeto y del objeto muestra ya por sí sola que el tiempo, como el espacio, reposa sobre un sistema de operaciones y no constituye el simple producto de una lectura, sea exterior o interior.

Pero, ¿en qué consisten esas operaciones y cuál es su relación con las operaciones espaciales? Así como en lo que se refiere al espacio, aquéllas empiezan por ser puramente cualitativas antes de dar origen a una metrización. Son las operaciones, ya analizadas (vol. I, cap. II, § 7), de colocación (relaciones asimétricas de orden) y de inserción de las partes en el todo (adición partitiva), las que formarán la subestructura "intensiva" del tiempo. Luego la síntesis de la partición y del desplazamiento engendrará una métrica temporal sobre el modelo de la métrica espacial (véase vol. I, cap. II, § 8). La única diferencia —que es de una gran importancia epistemológica— consiste en que el conjunto de esa construcción no se

referirá a las figuras o a los movimientos entendidos como simples cambios de posición, sino propiamente a las velocidades. Es de destacar que esas velocidades inherentes a la construcción cualitativa (intensiva) del tiempo no están concebidas más que en términos de sucesión espacial: no son de ningún modo relaciones entre espacios recorridos y tiempo transcurridos (sea $v = e/t$) sino únicamente "adelantos", es decir complicaciones del desplazamiento mismo, y las operaciones temporales iniciales sólo consisten en coordinar esos adelantos sin ninguna relación métrica. Dicho de otro modo, el concepto de tiempo reposa sobre el de la velocidad cualitativa y consiste en poner en relación velocidades cualitativas diferentes; luego, una vez construido el tiempo por esa misma coordinación, sirve para definir la velocidad métrica.

1. *La sucesión temporal.* El punto de partida de la construcción operatoria del tiempo debe buscarse en las relaciones asimétricas de colocación (orden) y desplazamiento (cambio de orden) que intervienen en la elaboración del espacio. Sea un móvil X que es desplazado según las posiciones sucesivas 1, 2, 3... etc. Esas posiciones, siendo sucesivas, abarcan ya en realidad, cierto orden temporal, pero dado en el movimiento como acto sensoriomotor en la sucesión de los procesos orgánicos necesarios a la percepción y al movimiento, etc., y no dado al pensamiento como orden específicamente temporal, puesto que coincide simplemente con el orden de sucesión espacial de los puntos sobre una trayectoria. En efecto, el orden espacial que interviene en un solo desplazamiento no implica lógicamente el tiempo, pues los cambios de posición podrían tener una velocidad infinita que reduciría la duración a nada; el niño construye su noción de desplazamiento espacial sin tomar en cuenta los tiempos sensoriomotor o fisiológico, sino como simple cambio de posición independiente del tiempo. Finalmente, un orden temporal indiferenciado del orden de sucesión espacial no constituye todavía un tiempo común, como lo han mostrado los hechos mencionados en el § 2. La construcción del tiempo no empieza pues por una extracción del orden temporal implícitamente vinculado con la coordinación espacial de los movimientos efectivos, porque ese vínculo no es necesario y sólo es ocasionado por la indiferenciación inicial de las coordinaciones lógico-matemáticas y de las acciones materiales coordinadas por ellas.

La construcción del tiempo se inicia, por el contrario y solamente, con la intervención de la velocidad, concebida como un adelanto, como una acción de sobrepasar; es decir, se inicia con la comparación entre las posiciones sucesivas del móvil X y las posiciones sucesivas de otro móvil que llamaremos Y.

Supongamos entonces que X e Y se desplazan en el mismo sentido siguiendo dos caminos paralelos y consideremos dos situaciones distintas: una en la cual X se encuentra colocado delante de Y y otra en la cual X se encuentra detrás de Y; se entiende que esas dos relaciones están tomadas con respecto al mismo sentido del recorrido. Cada una de esas dos situa-

ciones caracteriza entonces lo que llamaremos un "estado" particular del campo espacial. Esa idea de "estado" comprende también un elemento temporal implícito: la simultaneidad (Leibniz ha podido definir el espacio: el orden de las simultaneidades). Pero el estado no implica genéticamente una determinación de la simultaneidad, pues puede durar: poco importa el momento preciso en que Y se haya adelantado a X, es decir, en que X e Y estaban simultáneamente uno al lado del otro, o el número de posiciones sucesivas que el estado considerado abarca. La única condición que necesita el sujeto para construir una relación temporal es poder comprobar espacialmente que X precedía a Y en el estado A y que la inversa se realiza en el estado B. Esa doble comprobación no presupone ni simultaneidad ni sucesión dadas como elementos de la construcción operacional: éstas intervienen de nuevo sólo a título de elementos de los actos perceptivos, etc., que permiten comprobaciones espaciales. En cambio el sujeto construye una relación temporal entre los estados A y B, sin que esa relación sea dada directamente a su pensamiento y lo logra basándose en la relación de las velocidades. En efecto, mientras que se atenga a las sucesiones puramente espaciales, el sujeto sólo puede formar secuencias con las posiciones sucesivas $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \ldots$ etc., aplicadas al móvil X o al móvil Y, o a ambos al mismo tiempo (de donde surgen entonces los falsos juicios temporales mencionados en el § 2). Por el contrario, si tiene en cuenta que Y se adelanta a X, debe distinguir dos estados: el estado A en el cual se tiene, desde el punto de vista de la sucesión espacial, $Y \rightarrow X$, y el estado B en el cual $X \rightarrow Y$. Este hecho nuevo introduce una diferencia de velocidades, bajo forma de un cambio de orden, de un móvil con respecto a otro, y no solamente de los móviles con respecto a un elemento de referencia fijo. Ahora bien, ese hecho puede comprobarse espacialmente. Por otra parte, la sucesión de los estados está también dada espacialmente, gracias al sentido de orientación del movimiento mismo. No obstante, la relación de orden entre los estados mismos $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow$, etc., al descansar así exclusivamente sobre comprobaciones referidas al orden espacial, se ha vuelto temporal: por el hecho de que ordena simultáneamente los movimientos de dos móviles, uno de los cuales se adelanta al otro, constituye en efecto una coordinación de las velocidades y es esa nueva clase de la coordinación la que le confiere su carácter temporal.

Si designamos con *a* la relación de sucesión temporal entre los estados A y B, con *a'* la sucesión entre B y C, con *b'* la sucesión entre C y D, etc., la primera de las operaciones temporales cualitativas (intensivas) será entonces la adición (o la sustracción) de las relaciones de sucesiones de estados, o sea:

$$(1)\quad (A \xrightarrow{a} B) + (B \xrightarrow{a'} C) = (A \xrightarrow{b} C);\ (A \xrightarrow{b} C) + (C \xrightarrow{b'} D)$$
$$= (A \xrightarrow{c} D);\ (A \xrightarrow{c} D) + (D \xrightarrow{c'} E) = (A \xrightarrow{d} E);\ \ldots \text{etc.}$$

donde las relaciones *a*, *a'*, *b'* ... o *b*, *c*, *d*, ... etc., significan entonces "antes" en uno de los sentidos, y "después" en el otro.

La simultaneidad se concebirá entonces como el caso límite de la sucesión, cuando ésta tiende a anularse. Desde el punto de vista cualitativo y al carecer de medidas que permitan reconstituir el instante preciso en que dos sucesos separados (pero puestos en relación mediante señales acústicas o visuales) se han producido simultáneamente, sólo existe simultaneidad entre dos posiciones inmediatamente vecinas. La menor distancia que separe los sitios de los sucesos presupone ya un movimiento de la mirada o una coordinación de las percepciones, es decir una sucesión. La simultaneidad constituye por cierto en ese sentido un caso límite, sea:

$$(2)\quad (A_1 \rightleftarrows A_2)\ \text{o}\ (A_1 \overset{o}{\rightarrow} A_2) = (A_1 \leftrightarrow A_2)$$

Pero recordemos que en las intuiciones primitivas de la sucesión temporal el niño no reconoce la simultaneidad de dos paradas, cuando los movimientos tienen velocidades diferentes. La distinción establecida por el sujeto entre las relaciones (1) y (2) presupone afinar la idea de "estado". El estado puede incluir por sí mismo, desde el principio, sucesiones internas sin que las relaciones (1) sean cambiadas, puesto que la segmentación del continuo temporal en estados A, B, C, . . ., es arbitraria y cualesquiera que sean los valores intermedios o el grosor de la duración de esos estados, éstos serán siempre sucesivos. Pero el sujeto llega entonces, por la distinción de las relaciones de sucesión y de simultaneidad, a no atribuir a un estado más que un espesor *mínimo*, es decir una simultaneidad *máxima*. La conquista de esa simultaneidad, al margen de la velocidad de los movimientos considerados, se debe seguramente a una descentración progresiva de las intuiciones. Estas pesan exclusivamente, al principio, en el punto de llegada de los desplazamientos, a causa del carácter finalista del movimiento. En cambio, a medida que los puntos sucesivos de la trayectoria toman importancia, se establece una correspondencia término a término entre los puntos o segmentos a_1 b_1 c_1 . . . de la trayectoria de X y los puntos o segmentos a_2 b_2 c_2 . . . de la trayectoria de Y. Ahora bien, como cada una de las relaciones a_1 a_2; b_1 b_2; c_1 c_2 . . ., que constituyen esa correspondencia caracteriza un "estado", se puede decir entonces que los avances de la simultaneidad están vinculados con la multiplicación de los estados, teniendo en cuenta la serie primitiva (1).

II. *La duración*. Hemos visto cómo está vinculada la evaluación de la duración, en las intuiciones temporales primitivas, con el camino recorrido y con el trabajo realizado (de donde surge la idea extraña, y sin embargo bastante sistemática en un cierto nivel, de que la duración es proporcional a la velocidad). ¿Cómo pasa entonces la mente de esa idea inicial a la comprensión operatoria de las duraciones? Es interesante comprobar, una vez más, desde el punto de vista epistemológico, que la estructura temporal se organiza por medio de operaciones cualitativas (de carácter intensivo y precediendo a toda medida), igual que el espacio se constituye lógicamente (por operaciones infralógicas) antes de ser matematizado, y que el número mismo es preparado por la organización de las

clases y de las relaciones asimétricas antes de ser sintetizado por éstas. Se objetará quizá que el único medio de desengañar al sujeto que se obstina en igualar la duración o camino recorrido, sería midiéndola junto con él mediante un reloj. Pero antes del nivel en que las estimaciones de la duración son determinadas por un sistema de operaciones cualitativas, el niño a quien se le da un reloj común o de arena para medir el tiempo que dura su caminar en una habitación o el recorrido de una muñeca sobre la mesa, estima que la aguja o la arena se desplazan con una velocidad muy distinta según que sirvan como sistema temporal de referencia para medir un movimiento rápido o uno lento del móvil dado.[10] ¡La medida del tiempo es por ende imposible mientras no haya una coordinación previa de las relaciones entre la duración, el desplazamiento y la velocidad!

En realidad, el gran descubrimiento que permite al sujeto estructurar las duraciones es la posibilidad de poner operatoriamente en relación intervalos de tiempo con el orden mismo de los sucesos; ahora bien, como ese orden de los sucesos concierne a los "estados" (véase I), es decir a las correspondencias entre puntos alcanzados por los movimientos independientemente de la velocidad de éstos, concebir la duración como intervalo entre estados equivale a coordinar velocidades distintas. Dado un sistema de dos movimientos que parten simultáneamente de a_1 y de a_2 para alcanzar simultáneamente b_1 y b_2, luego c_1 y c_2, etc., tales que el espacio recorrido $a_2 b_2$ sea mayor que $a_1 b_1$ y que el espacio recorrido $b_2 c_2$ sea mayor que $b_1 c_1$, etc., la duración se convierte en el intervalo entre los estados $a_1 a_2$ y $b_1 b_2$, entre $b_1 b_2$ y $c_1 c_2$, etc., en lugar de reducirse simplemente a los intervalos espaciales $a_1 b_1$ ó $a_2 b_2$, etc., la duración consiste, desde ese momento, en un intervalo que atañe a los espacios recorridos referidos a la velocidad (o a los trabajos realizados referidos a las "potencias"), es decir en un intervalo entre estados ordenados en el tiempo.

Recordamos (§ 2) que esa relación entre la duración y el orden de los sucesos (o estados temporales), por más evidente que sea para nosotros, escapa a los niños pequeños: ellos rechazarán la idea, por ejemplo, de que A haya nacido antes que B, sabiendo que A es el mayor de los dos, o que C es más joven que D, sabiendo que C ha nacido después que D. La duración, en cambio, es comprendida completamente desde el momento en que es encarada como un intervalo entre los sucesos ordenados, al margen de las velocidades y de los espacios recorridos (en el caso en cuestión, al margen de la velocidad de crecimiento y de la estatura alcanzada a cierta edad).

Sea entonces la sucesión de los "estados" A, B, C . . . seriados aplicando el agrupamiento (1), es decir en función de las relaciones de sucesión *a*, *a'*, *b'*, etc. (que significan "antes" y "después"). Aun sin medida alguna y en función de operaciones de inserción propias del agrupamiento de las relaciones simétricas (o de las particiones), el sujeto puede concluir

[10] Véase *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. París, PUF, cap. VIII.

que entre los sucesos o estados A y C ha transcurrido un tiempo mayor que entre los sucesos o estados A y B; igualmente entre A y D la duración es mayor que entre A y C, etc. Sin embargo, conforme a la estructura de las operaciones intensivas, nada se sabe entonces acerca de la relación entre las duraciones sucesivas AB y BC, o BC y CD, etc.

De ahí el agrupamiento (derivado del orden de la sucesión $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \ldots$ etc.):

$$(3) \quad AB + BC = AC;\ AC + CD = AD;\ \text{etcétera},$$

donde las relaciones AB, BC, CD, etc., son relaciones simétricas de intervalos (y no ya relaciones asimétricas de orden, como en 1). Ahora bien, la experiencia muestra que esas inserciones constituyen la condición de la estructuración cualitativa de las duraciones: resulta así que por debajo de los siete a ocho años el niño llegará a admitir, según los caminos recorridos sobre dos trayectorias distintas, que la duración $a_1 b_1$ es mayor que la duración $a_2 c_2$, de donde $AB > AC$. En cambio desde los siete-ocho años, se tendrá siempre $AB < AC < AD <$ etcétera.

Desde ese punto de vista, la simultaneidad, concebida según la operación (3) como una sucesión nula, puede ser comprendida también como una duración nula:

$$(4) \quad \text{Si } A \overset{o}{\rightarrow} B, \text{ entonces } AB = 0.$$

Del mismo modo, de (3) y de (4) el sujeto puede inferir la igualdad de las duraciones sincrónicas. Si hay simultaneidad entre los sucesos a_1 y a_2; b_1 y b_2; c_1 y c_2, etc., sea $a_1 a_2 = 0$; $b_1 b_2 = 0$; etc., lo cual define los estados A, B, C, etc., entonces las duraciones $a_1 b_1$ y $a_2 b_2$ serán iguales; del mismo modo $b_1 c_1$ y $b_2 c_2$, etc., se reducirán a las duraciones entre estados A, B, C, etc., o sea AB, BC, etc.:

$$(5) \quad \text{Si } a_1 a_2 = 0;\ b_1 b_2 = 0, \text{ etc., entonces } a_1 b_1 = a_2 b_2 = AB;\ b_1 c_1 = b_2 c_2 = BC, \text{ etc.}$$

Así, gracias a esos cinco agrupamientos de operaciones (1) a (5), el tiempo cualitativo queda enteramente constituido, independientemente de toda métrica: el sujeto es capaz de construir un orden de sucesión temporal entre acontecimientos (o entre estados caracterizados por sucesos respectivamente simultáneos), de insertar las duraciones unas en las otras en función de dicho orden, de concebir simultaneidades como sucesión o duración nulas y de igualar duraciones sincrónicas en función de la simultaneidad de los sucesos entre los cuales ellas están comprendidas. Sin embargo, como se ve, esa estructuración cualitativa del tiempo, que procede exclusivamente por agrupamientos aditivos (adición de relaciones de orden o de intervalo) y multiplicativos (correspondencias), está sometida a dos limitaciones esenciales. La primera consiste en que las simultaneidades se establecen gradualmente, entre sucesos próximos en el espacio. La segunda consiste en que las duraciones, comparadas entre sí y que corresponden a movimientos de diferentes velocidades, son sincrónicas en todo o en parte. Esa segunda

limitación, en especial, es inherente a las operaciones intensivas que sólo implican relaciones entre una parte y el todo ($a < b$ o AB < AC, etc.) y no relaciones entre las partes (a y a' o AB y BC, es decir, en este caso, las relaciones entre duraciones sucesivas). En el caso particular, esta oposición entre lo intensivo y lo extensivo o lo métrico es evidente puesto que por ser las operaciones intensivas impropias para inferir alguna conclusión sobre las relaciones entre duraciones sucesivas, no podría haber igualación entre duraciones isócronas: dicha igualación, empero, constituye la condición previa a toda medida de tiempo. Importa, pues, ver ahora cómo la actividad del sujeto permite pasar de las operaciones intensivas, simples agrupamientos infralógicos referentes a las sucesiones e inserciones temporales, a las operaciones métricas.

III. *La medida elemental del tiempo.* Medir el tiempo a partir de las operaciones cualitativas que lo constituyen será entonces comparar un intervalo a (o AB) no solamente con la duración b (o AC), más larga, de la cual aquél forma parte (de donde resulta la simple cuantificación intensiva: $a < b$ o AB < AC), sino con el intervalo siguiente a' (o BC, es decir $a' = b - a$), que no tiene elementos comunes con a, salvo el instante frontera que los separa. Equivaldrá pues a transportar sobre el intervalo a' la duración de a, pero forzosamente por vía indirecta, es decir por la repetición de un movimiento de duración $a_2 = a$ que sirve de medida común entre a y a'. Empero, se ve de inmediato que esa repetición de un movimiento, base de la igualación de las duraciones sucesivas, presupone la conservación de la velocidad de dicho movimiento. Pero, ¿cómo puede saberse que una velocidad se conserva si no es midiendo el tiempo empleado por el recorrido de una distancia? La medida del tiempo implica pues: 1º que se salga del dominio de las relaciones exclusivamente temporales para recurrir al movimiento, al espacio y a la velocidad (como ya sucedió, además, con la constitución de las operaciones temporales cualitativas); 2º que los movimientos utilizados conserven su velocidad, con lo cual se encierra la medida en un círculo, puesto que la determinación de una velocidad presupone la medida del tiempo.

Ese círculo ha sido señalado por todos los autores que han analizado la medida del tiempo.[11] Se han invocado dos clases de circunstancias que permiten con razón no considerarlo como un círculo vicioso. Por una parte, el principio mismo de la causalidad obliga a considerar que un movimiento que se repite en las mismas circunstancias conservará la misma velocidad y durará, por consiguiente, el mismo tiempo. ¿Cómo se sabe empero que el mismo movimiento puede repetirse en las mismas circunstancias? Aquí interviene la segunda razón: las múltiples medidas del tiempo basadas unas sobre la astronomía, otras sobre el isocronismo de las pequeñas oscilaciones, otras sobre la radiactividad, la electricidad, etc., convergen

[11] Véase en particular G. Juvet: *La structure des nouvelles théories physiques.* Paris, Alcan.

entre sí según una coherencia creciente y suministran así articulaciones más precisas para el círculo que las engloba. Ambas respuestas son equivalentes por otra parte, pues la causalidad nos resulta conocida solamente por la convergencia interna de las coordinaciones que nuestras operaciones nos permiten establecer entre los fenómenos.

La necesidad de hacer intervenir la velocidad para medir el tiempo, y por consiguiente de recurrir a elementos tomados de la realidad exterior, presenta una significación epistemológica que conviene destacar. Genéticamente, como se acaba de ver, el tiempo no es sino una coordinación de las velocidades: son las diferencias de velocidades que oponen un obstáculo a las evaluaciones intuitivas de las simultaneidades y de las duraciones, y es la puesta en correspondencia de las posiciones ocupadas por móviles de velocidades distintas la que nos permite constituir relaciones temporales cualitativas. Es natural por lo tanto que las velocidades susceptibles de conservación sean las que sirvan para la medida del tiempo: esa medida constituye así la prolongación de las correspondencias que ya actúan en las formas más elementales de la noción del tiempo. Hablando con propiedad habría que decir que la intervención de la conservación de las velocidades en la cronometría no nos hace salir del tiempo y constituye la única razón de su fluir uniforme: sin embargo, por estar la velocidad ligada siempre al movimiento de un objeto, que posee una masa o una energía (aun si el objeto en cuestión pierde sus caracteres macroscópicos de "objeto" permanente), resulta que si el tiempo depende de las velocidades, depende por intermedio de ellas del conjunto de las otras nociones físicas.

Igual cosa ocurre en cuanto a la medida de las longitudes reales. Cuando el geómetra invoca el desplazamiento para definir una métrica, define el desplazamiento o movimiento puramente geométrico como una transformación que conserva las congruencias. Pero, ¿cómo podemos saber físicamente que una longitud desplazada se conserva? También aquí hay que recurrir a la causalidad: "la idea de longitud absoluta deriva del principio de causalidad", escribía, por ejemplo, Lucien Poincaré en 1911.[12] Lo cual es un modo de decir que la medida de una distancia real presupone toda la física, como se comprendió mejor con la teoría de la relatividad.

Genéticamente esta interdependencia entre la medida del tiempo y la noción de velocidad uniforme aparece claramente en el siguiente experimento. Se presenta a unos sujetos de cuatro a diez años un frasco piriforme que se vacía por etapas en un recipiente cilíndrico; con cada nuevo escurrimiento se llega a un nivel de agua que se marca sobre el vidrio de los dos frascos como registro: el problema consiste en comprender las relaciones entre esos diferentes niveles descendentes (frasco superior) y ascendentes (frasco inferior) y el transcurso del tiempo. Una vez construidos (gracias a las operaciones 1 a 5) el orden de sucesión temporal y la inserción cualitativa de las duraciones (no sin verse obligado a vencer todas las dificultades señaladas en el § 2), el sujeto llega espontáneamente hacia los ocho

[12] Lucien Poincaré: *La physique moderne*. Flammarion.

años a juzgar la igualdad de las duraciones sucesivas entre los estados A, B, C, etc. (correspondencias entre los niveles del frasco superior y los del frasco inferior) de acuerdo con la igualdad de las diferencias de nivel en el frasco cilíndrico.[13] El sujeto justifica el asunto invocando el hecho de que se trata de iguales cantidades de agua que se escurren con las mismas velocidades (aunque el cambio de nivel sea mucho más rápido en el frasco cilíndrico que en el piriforme). El isocronismo de las duraciones sucesivas se constituye así en el terreno macroscópico, por la repetición de un mismo "trabajo", y por ende por una operación de desplazamiento (escurrimiento del agua en el presente caso), unida a una partición de los espacios recorridos (segmentados aquí en capas superpuestas), lo que concuerda con el principio de cualquier medición (vol. I, capítulo II, § 8). En otras palabras, puesto que la iteración de la unidad de tiempo se debe a los recorridos, con un movimiento de velocidad uniforme, de una serie de intervalos espaciales equivalentes, esas unidades representan una fusión del desplazamiento y de la partición, como en el caso de la medida espacial: sólo que, en tanto el desplazamiento que interviene en la medida de una magnitud geométrica es un movimiento sin velocidad, el desplazamiento constitutivo de la unidad temporal es un movimiento físicamente caracterizado por una velocidad.

Desde el punto de vista de la génesis de las operaciones, el interés de las observaciones que se pueden hacer mediante ese dispositivo consiste en poner de manifiesto sobre todo la condición *sine qua non* no sólo de la medida del tiempo, sino también de la estructuración cualitativa del orden temporal y de la duración: ¡es la reversibilidad necesaria de las operaciones temporales! En efecto, el orden de los sucesos se comprende solamente a partir del momento en que puede desarrollarse en los dos sentidos. A menudo se dice que el tiempo es irreversible, pero son los sucesos propiamente dichos, o sea, por así decirlo, el contenido del tiempo, los imposibles de reproducir físicamente en sentido inverso del de su orientación causal. En cuanto al tiempo, concebido como operación que vincula mediante el pensamiento esos sucesos entre sí, es asimétrico (es decir que el orden $A \rightarrow B$ no equivale al orden $B \rightarrow A$), pero esencialmente reversible, o sea que para reconstituir el orden $(A \rightarrow B)$ hay que remontarse primero de B a A según la relación $(B \leftarrow A)$: se comprende esto al comprobar cuánta dificultad experimentan los sujetos pequeños, cuyo pensamiento intuitivo permanece irreversible, para reconstituir el orden de los niveles sucesivos dibujados sobre láminas que se hacen ordenar después de haberlas mezclado. Igual ocurre con la inserción de las duraciones, que sólo llega a comprenderse desde el momento en que la desinserción se vuelve posible, o sea si se sustrae una duración parcial de la duración total. Pero la necesidad absoluta de la reversibilidad operatoria es visible sobre todo en cuanto atañe a la medida: para comparar dos duraciones sucesivas, es indispensable, en efecto, comprender que el valor de la unidad elegida

[13] Para el detalle, véase nuestra obra *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. París, PUF, caps. I y II.

permanece el mismo ya se trate de un tiempo pasado, presente o futuro. Lo que constituye precisamente la gran dificultad para los niños pequeños es el retorno al pasado: cuando se les pregunta, por ejemplo, si se necesitó más o menos tiempo para hacer escurrir el agua del nivel 1 al nivel 2, o del nivel 4 al nivel 5, ellos responden que nada se puede saber porque, cuando el agua estaba en 5, ha dejado hace tiempo los niveles 1, 2 y que ¡no se la puede hacer remontar para efectuar la comparación! Y, no obstante, las marcas de los niveles sucesivos están allí como testigos: la percepción irreversible de los sucesos consecutivos se opone así a la operación reversible y, solamente después de haber adquirido la reversibilidad de la operaciones intelectuales, los agrupamientos temporales de carácter operatorio (infralógico) y la medida misma se vuelven posibles. La construcción del tiempo es por ende un buen ejemplo de colaboración entre las operaciones reversibles del sujeto y los procesos irreversibles del objeto.

IV. *El tiempo psicológico.* Todas las operaciones cualitativas y métricas que acabamos de describir en lo que se refiere al tiempo físico se vuelven a encontrar en el tiempo psicológico o duración interior y solamente por un prejuicio antiintelectualista se ha querido oponer esas dos realidades temporales estrechamente solidarias. Nada tiene de sorprendente esa solidaridad puesto que la propia acción está caracterizada, como las modificaciones del tiempo físico, por velocidades o "potencias" y trabajos realizados, y por ende el tiempo psicológico constituye una coordinación de las velocidades de la acción, así como el tiempo físico es una coordinación de las velocidades exteriores.

A ese respecto se encuentran en la constitución del tiempo psicológico como en la del tiempo físico, los tres escalones del pensamiento intuitivo o prelógico, de las operaciones lógicas (o infralógicas) y de las operaciones métricas mismas.

La intuición preoperatoria se manifiesta en las ilusiones de las estimaciones a las que da lugar la duración psicológica: una hora de trabajo lento y fastidioso parece más larga que una hora de trabajo rápido, porque en la introspección, no sólo el tiempo es inversamente proporcional a la velocidad, sino que además esa relación inversa está acentuada conforme a los mecanismos de contrastes originados por la ley de las centraciones relativas en los campos perceptual e intuitivo. A la inversa, en el recuerdo el tiempo llenado parece más largo porque es juzgado entonces por el trabajo realizado al margen de la velocidad olvidada.

Pero si esas contracciones o dilataciones de la duración interior bajo el efecto combinado de la velocidad de las acciones y de las centraciones o regulaciones perceptivo-intuitivas son de una observación trivial, se ha insistido menos sobre el aparato operatorio (lógico o infralógico), indispensable para la construcción del tiempo psicológico. En primer lugar y en lo que se refiere al orden de los acontecimientos, la memoria real está muy lejos de presentar ese registro regular y espontáneamente ordenado de los recuerdos que es postulado por la memoria bergsoniana y por la memoria freudiana: el orden de los recuerdos se construye en lugar de darse como

algo acabado, y esa construcción presupone las mismas operaciones de seriación que el orden propio del tiempo físico. En cuanto a la inserción de las duraciones, si llamamos a la que transcurre entre los sucesos interiores A y B, a' la duración entre B y C (según el orden de sucesión ABC), tanto en el tiempo psicológico como en el físico es seguro que $a + a' = b$ y que $a < b$. Esas operaciones son transitivas, asociativas y reversibles para la duración interior como para la de los fenómenos exteriores.

Finalmente, el hecho de que existe una métrica del tiempo interior, es decir una metrización que se vuelve factible por la repetición de algunos movimientos (fónicos en particular), realizados con velocidad constante, (al margen de toda espacialización científica y en función únicamente de la "intuición" creadora de los poetas y de los músicos), lo demuestra por sí sola la "métrica" de cualquier sistema de versos o de cualquier canto: la cadencia de los versos de la *Ilíada* y el ritmo de una cantilena constituyen un sistema de operaciones temporales que implican la iteración de una unidad de medida (sílabas "largas" y "breves" o "longitud" de las notas) y un físico contemporáneo ha llegado hasta a determinar los "grupos" ligados a los sonidos y al tiempo que intervienen en el lenguaje musical.[14]

V. *La métrica relativista.* Admitiendo que el tiempo sea desde el origen y en todos los niveles, bajo su forma psicológica como física, una coordinación de las velocidades sometida a la intuición primitiva de la velocidad misma, se infiere que todas las modificaciones que ocurren en nuestras ideas sobre la velocidad producen forzosamente una transformación de nuestro concepto del tiempo. Mientras que las velocidades no aparecían como limitadas por un *máximo* y mientras que a las velocidades medibles se agregaba la existencia supuesta de una velocidad infinita, la de la atracción universal, el tiempo debía ser concebido como absoluto. Las operaciones lógicas de orden y de inserción de las duraciones parecen en efecto asignar al tiempo un carácter común a todos los fenómenos y por ende un carácter homogéneo en la medida, por lo menos, en que la acción puede seguir los objetos y seriar los sucesos que se refieren a la misma (en oposición a la escala microfísica).[15] En cuanto a su fluir uniforme, resulta del empleo de una métrica que parece disponer del registro de todas las velocidades posibles. Pero desde el momento en que las medidas de Michelson y Morley han mostrado el carácter privilegiado de la velocidad de la luz y su completa isotropía, las razones genéticas mismas que vinculan la idea del tiempo con la de la velocidad impusieron una modificación solidaria de ambos conceptos. Es esa fusión de los conceptos físicos esenciales, en función de las ideas de tiempo y de velocidad, la que Einstein ha realizado con la brillantez que todos conocen.[16]

[14] A. Mercier: "Sur les opérations de la composition musicale", *Arch. de Psychol.*, vol. XXVII, pág. 186.

[15] Para el tiempo microfísico, véase el cap. VII, § 2.

[16] Desearíamos señalar, desde el punto de vista genético, que Einstein, al presidir en 1928 los primeros cursos internacionales de filosofía y psicología en Davos,

El hecho de que un observador fijo con respecto a una fuente luminosa, o que un observador que avanza a una gran velocidad en la dirección de esa fuente obtengan, midiendo ambos la velocidad de la luz, el mismo valor de 300.000 km por segundo, independientemente de la diferencia de sus puntos de vista, sólo puede interpretarse, en efecto, de tres maneras: o son víctimas de un error de medición (es decir que el hecho experimental de la constancia de la velocidad de la luz es ilusorio), o hay que renunciar a cualquier composición de las velocidades, o finalmente hay que admitir que el reloj del observador móvil camina más lentamente y que un segundo indicado en su cuadrante abarca una duración dilatada con respecto a las unidades de tiempo marcadas en el reloj del observador fijo. Ahora bien, no sólo el hecho de la constancia de la velocidad de la luz, al margen de los movimientos del observador, se ha verificado con la mayor precisión, sino que además, como lo señalara Poincaré ya al comienzo, semejante resultado está en la lógica misma del principio de la relatividad de la mecánica clásica: significa que el éter permanece fijo con respecto a cualquier observador, contrariamente a las propiedades que se le solían atribuir. Por otra parte, si se renuncia a una composición de las velocidades, todo razonamiento se vuelve imposible. Sólo quedaba por admitir la dilatación de la duración en función de la velocidad de la cual está dotado el sistema del observador.

Sin embargo, ¿qué había de molesto para la mente en esa dilatación? No es porque implique un símil de contradicción lógica, puesto que el razonamiento más sencillo la impone, apenas se admite la isotropía completa de la luz. El malestar proviene solamente del hecho de que contradice nuestra intuición corriente. Pero aquí es donde el punto de vista histórico y genético nos puede informar sobre la poca confianza que conviene depositar en la intuición que siempre está en relación con un nivel mental determinado. La relatividad misma del movimiento, que desde Galileo nos impide decidir por los movimientos internos del sistema solamente si ese sistema está en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme, chocaba a la intuición de la misma manera antes de que se llegara a comprender cómo la relatividad precisamente podía explicar que no sintiéramos los movimientos que animan a la tierra. La corrección que la teoría de la relatividad requiere de nuestra intuición del tiempo es sólo una extensión de esa corrección impuesta por la cinemática galileana. Por otra parte, el esfuerzo de coordinación que nos exige esa idea de la relatividad de la duración para ajustar entre sí los puntos de vista de los observadores arrastrados con velocidades diferentes no es más que la prolongación del esfuerzo de coordinación que necesitara el niño para ligar en un solo tiempo común las duraciones heterogéneas que atribuía a movimientos de velocidades diferentes. Por más paradójico que parezca, la duración relativa y los tiempos propios de la teoría einsteiniana son así al tiempo absoluto lo

había defendido la anterioridad psicológica de la intuición de la velocidad con respecto a la del tiempo. Nos aconsejó emprender el estudio del desarrollo de esas nociones en el niño; recogiendo esa sugerencia hemos realizado las investigaciones publicadas en 1946 y resumidas en este capítulo.

que éste es a los tiempos propios o locales de la intuición infantil (así como al tiempo propio cuya hipótesis ha enunciado Aristóteles en pasajes que se interpretan a veces erróneamente como si anticiparan la relatividad moderna). En ambos casos, en efecto, el tiempo aparece como una coordinación de las velocidades, y el pasaje de las velocidades incoordinables a las velocidades coordinadas merced a un tiempo común homogéneo y uniforme es una primera etapa de la transformación de los falsos absolutos egocéntricos en relaciones objetivas, que caracteriza igualmente el pasaje del tiempo absoluto (con una posibilidad de velocidades infinitas) al tiempo relativo vinculado con una coordinación más precisa de las velocidades.

Esto nos conduce a la simultaneidad. Si existe una velocidad *máxima*, que se manifiesta constante cualquiera que sea el punto de vista desde el que se la mida, resulta claro, por las mismas razones, que la simultaneidad a distancia estará referida a la velocidad del sistema que arrastra al observador. La simultaneidad de los acontecimientos que ocurren en sitios vecinos no quedará alterada, como tampoco el orden de los sucesos: entre dos sucesos A y B que parezcan sucesivos desde el punto de vista (I), B jamás será determinado como si precediera a A desde un punto de vista (II), sino a lo sumo como si le fuera simultáneo. Pero en el caso de dos sucesos cuyas localizaciones son distantes, ya no se podrá hablar de simultaneidad absoluta. Aquí, nuevamente, la génesis misma de la idea de simultaneidad vuelve sumamente natural esa corrección de nuestras intuiciones. Desde el momento en que, a pocos centímetros de distancia, un niño no cree en la simultaneidad de las paradas de dos móviles de velocidad diferente, es porque la idea de simultaneidad se construye en función de los movimientos y de las velocidades y no está dada por sí misma. Se deduce de un intercambio de señalizaciones que principia con la actividad perceptiva y que llega en el plano operatorio a caracterizar dos sucesos localizados en A y C, tales que un observador colocado a mitad de camino, en B, pueda recibir señales de A y de C con velocidades iguales y en el mismo tiempo. Sólo si en la composición de esos movimientos interviene otra vez la constancia de la velocidad relativa de la luz, entonces la noción de simultaneidad se vuelve relativa con respecto a las velocidades; pero será por otras razones, que conciernen esta vez al movimiento de los sistemas que arrastran al observador o lo dejan fijo y no solamente a la velocidad de los móviles mismos.

La explicación general de las transformaciones de la idea de tiempo debe buscarse pues en la composición de las velocidades. En el nivel intuitivo de carácter preoperatorio (por ejemplo en el niño menor de siete u ocho años o en el primitivo, etc.) el sujeto no tiene el concepto de velocidad en cuanto relación entre el espacio recorrido y el tiempo, y sólo posee la intuición del sobrepasar: de aquí surge la falta de un tiempo común a los movimientos de velocidades diferentes. En el nivel de las operaciones concretas, logra, poniendo en correspondencia puntos sucesivos de las diversas trayectorias, acceder a la idea de un tiempo homogéneo y uniforme, y por ende a una definición de la velocidad como relación ($v = e/t$), pero sin saber medir todavía la velocidad ni componer las

velocidades relativas entre sí, de donde resulta una falta total de cualquier relatividad de movimiento. En el nivel de las operaciones formales, la composición aditiva de las velocidades ($w = v + v'$) se vuelve posible y se reencuentra así (con la aceleración del desarrollo mental debida a la educación) con la cinemática galileana, la que a su vez desemboca en la relatividad del movimiento y en la consolidación del tiempo absoluto. Finalmente, con la intervención de la constancia de la velocidad de la luz, la composición de las velocidades de movimientos orientados en el mismo sentido se convierte en $w = [v + v'] / [1 + (v.v'/c^2)]$ (donde $c =$ la velocidad de la luz), y esa relación implica la relatividad de las duraciones y de las simultaneidades. De un extremo al otro de ese desarrollo, la construcción del tiempo en la escala de los fenómenos macroscópicos está subordinada pues a la del concepto de velocidad.

En cuanto a la evolución de ideas temporales en la escala microfísica (véase capítulo VII), es interesante comprobar que con la desaparición de las ideas de objeto permanente (de móvil en el sentido físico por lo tanto) y de movimiento caracterizados simultáneamente por las posiciones y las velocidades, el concepto del tiempo se transforma de un modo mucho más radical. Vinculada con los cambios de "estados" ($d\psi$) y con la relación entre éstos y la energía total ($\mathcal{H}\psi$), la duración parece liberarse así de la velocidad: lo que ocurre es que las ideas de trayectoria y de velocidad pierden su significación macrofísica y son reemplazadas en su función cronógena, por así decirlo, por las relaciones mucho más generales de cambio de estado y de energía total. Más aún en microfísica, el tiempo no podría ser captado ni medido directamente: es construido, como siempre, y consiste esencialmente en una relación elaborada entre términos, también construidos operatoriamente. Uno de los términos de esa relación desempeña el papel de lo que son los espacios recorridos o cambios de posición para el tiempo macroscópico: los cambios de estado constituyen el orden de los acontecimientos. En cuanto al fluir del tiempo, está asegurado por el otro término de la relación $dt = d\psi / \mathcal{H}\psi$, es decir por la energía total que determina el ritmo de los cambios de estado. A pesar de la profunda confusión de los conceptos, originada, como lo hemos de ver, por el hecho de que las representaciones microfísicas están vinculadas con el límite de nuestra acción posible sobre el objeto, el tiempo sigue siendo pues, en ese campo como en los anteriores, una relación condicionada a la vez por las operaciones del sujeto y por los cambios inherentes al objeto.

VI. *Conclusión: tiempo y espacio.* Los hechos que anteceden (I a V) muestran suficientemente por qué la medida del tiempo, como la del espacio real, constituye una operación física, o sea referente a objetos diferenciados, caracterizados por sus cualidades de velocidad, masa, etc.; se opone así a la métrica de la geometría pura (formalizada), que es independiente de los objetos particulares y sólo atañe a la coordinación más general de las acciones (y se refiere por consiguiente tanto a los objetos ideales como a los reales). Se plantea entonces la cuestión de saber por qué al espacio

real, o sea al espacio físico, le corresponde un espacio enteramente deductivo cuyos avances son independientes de la experiencia, mientras que esta o estas "geometrías" matemáticas no están dobladas por una "cronometría" pura, en el sentido de una teoría deductiva del tiempo y que la única cronometría fecunda permanece siendo una ciencia experimental y física, es decir un capítulo especial de la cosmometría.

Parece, empero, a primera vista, que las relaciones temporales de duración y sobre todo de orden de sucesión, pertenecen a la coordinación general de las acciones, tanto por lo menos como las relaciones espaciales de entorno y de orden. No es posible, en efecto, desplazar un objeto de A a C por intermedio de la posición B sin que las tres posiciones A, B y C sean concebidas como sucesivas en el tiempo como en el espacio, lo que hiciera decir a Poincaré (acerca del grupo de los desplazamientos precisamente) que el tiempo es anterior al espacio. Del mismo modo, la coordinación de los medios y de los objetivos en el interior de todo acto de inteligencia presupone, a título de coordinaciones reales, el antes y el después temporales además de la sucesión lógica de las premisas y de las conclusiones. Interviene, pues, un elemento de tiempo en la coordinación misma de las acciones.

¿Acaso se dirá sencillamente que esos elementos temporales inherentes a la coordinación de las conductas no pueden formar un sistema acabado sin la intervención de las velocidades, es decir, de los movimientos físicos exteriores y de los objetos que sirvan como puntos de aplicación a las acciones, mientras que la coordinación espacial da lugar a la construcción de "grupos" cerrados al margen de su aplicación? Pero sólo manipulando objetos reales y no ejerciendo acciones en el vacío llegan las coordinaciones espaciales a la construcción de un espacio coherente. Incluso, por esa razón esencial las ideas físicas se construyen simultáneamente con las ideas lógico-matemáticas: las coordinaciones más generales de las acciones sólo se consthuyen coordinando acciones que se ejercen sobre los objetos mismos, acciones físicas por ende, y por un proceso de diferenciación gradual las coordinaciones son reflejadas y formalizadas como tales, mientras que las acciones particulares se especializan cada vez más en función de los objetos. Por esto el niño construye simultáneamente la geometría experimental de los objetos reales y la geometría de su propia acción (por lo tanto coordinaciones de la acción, mientras que ésta se aplica a los objetos) y esas dos geometrías, indiferenciadas primero, se disocian muy lentamente en una geometría física y una geometría matemática. Sería pues absurdo pretender que la coordinación de las acciones lleve a la construcción matemática al margen de su ejercicio en el transcurso de las acciones particulares que se aplican a los objetos exteriores, en tanto el tiempo resultaría como dato inmediato de estas últimas.

La diferencia entre el tiempo y el espacio debe buscarse pues en el proceso mismo de esa aplicación de las acciones o de las operaciones a los objetos exteriores: en el caso del espacio, basta la coordinación de las acciones, por su ejercicio en el curso de las acciones particulares, para

asegurar la construcción de las estructuras, sin utilizar como materiales las propiedades de los objetos (aun cuando esas propiedades sugieran a la mente nuevas construcciones); por el contrario, en el caso del tiempo, la abstracción a partir de la coordinación de las acciones no basta para la construcción de las estructuras, y éstas toman de los objetos ciertos caracteres que el sujeto abstrae de dichos objetos.

En efecto, si es exacto que la coordinación de las acciones presupone un elemento de sucesión temporal, entonces dicho elemento no es disociable de la sucesión espacial de los movimientos o de la sucesión lógica (o del orden de los medios y de los fines), es decir, de los factores que, una vez abstraídos de las coordinaciones iniciales y reagrupados en operaciones, engendrarán la sucesión o el orden lógico-matemático: para dar lugar a una sucesión específicamente temporal, esos elementos abstraídos de la acción deberán ser puestos en relación con elementos abstraídos del objeto sobre el cual se ejerce esa acción, es decir con los factores de velocidad.

Pero, ¿por qué la velocidad misma no pertenece a la coordinación general de las acciones e implica la intervención de la experiencia y del objeto? La cuestión está en que la velocidad o bien es inercial o bien sujeta a aceleraciones variadas positivas o negativas: admitiendo así la intervención de los conceptos de masa o de fuerza, la velocidad es solidaria con el conjunto de las relaciones físicas. En cuanto a la experiencia interior de la velocidad (movimientos del propio cuerpo y regulaciones de frenado o de aceleración), consiste precisamente en una experiencia como cualquier otra, comparable a la experiencia exterior y que equivale a considerar el propio cuerpo y sus acciones como un objeto entre otros; en completa oposición con los conceptos lógico-matemáticos (clases, números, etc.) que resultan de la actividad del sujeto y no de una experiencia interior, la velocidad de las propias acciones no constituye un resultado de la actividad del sujeto, sino un carácter de sus acciones mismas concebidas como objeto. Se sobreentiende que la experiencia interior de la velocidad o del tiempo no es más inmediata ni más pasiva que la experiencia exterior: presupone como la experiencia exterior una interpretación y por ende una organización o una reconstrucción. Pero es una experiencia que consiste en extraer algo dado de su objeto, por oposición a las actividades lógico-matemáticas que se coordinan por sí mismas al ejercerse sobre el objeto.

La diferencia entre el espacio y el tiempo surge con claridad desde ese punto de vista. La vecindad de dos elementos espaciales puede ser impuesta por el objeto como ocurre en la percepción, en que el sujeto toma acto de la vecindad física de dos partes de una misma figura. Además del hecho de que esa vecindad física siempre está referida a cierta escala de observación y por ende a la acción del sujeto, éste logra construir la idea de la vecindad de dos puntos o emplazamientos vacíos de objeto, y esa vecindad operatoria y formalizada deriva entonces directamente de las coordinaciones entre acciones que ya intervenían en la construcción de la relación de vecindad entre objetos o partes de objetos físicos. En cuanto a la vecindad temporal entre dos sucesos, también está referida en parte a la acción del sujeto que los registra en cierta escala de observación. Pero

¿puede abstraerse acaso de esa acción la idea de una vecindad entre los momentos de un tiempo que sería vacío de todo acontecimiento? No, porque ese tiempo sin velocidades ni contenido irreversible se reduciría al desplazamiento espacial.

El orden espacial da lugar a las mismas reflexiones con respecto al orden temporal. Un orden de sucesión física está referido a la vez a los objetos recorridos y al sujeto que lo recorre, pero el sujeto, siendo incapaz de colocar los objetos en cierto orden, y obligado inclusive a coordinar sus propias acciones según cierto orden para engendrar el de los objetos sobre los cuales actúa, es igualmente apto para ordenar los puntos ideales de una línea construida por operaciones formales en un espacio vacío de objetos. Ahora bien, si la sucesión temporal de una serie de sucesos físicos presupone igualmente la intervención de datos objetivos y la del sujeto que los ordena, éste no podría ordenar los momentos de un tiempo vacío: un espacio vacío de objetos reales puede estar, en efecto, poblado de formas ideales que representen las acciones o las operaciones posibles del sujeto, mientras que un tiempo vacío no podría poblarse de sucesos ideales susceptibles de ser ordenados con necesidad, al no poder deducir las velocidades (determinando sus interferencias), si no es apoyándose sobre leyes experimentales.

La geometría proyectiva ha surgido psicológicamente de la coordinación de los puntos de vista, pero aun fuera de todo punto de vista real (es decir, físico) se pueden deducir las proyecciones y las secciones por una serie de correspondencias ideales (las "homologías" y las "reciprocidades") que expresen la coordinación entre las operaciones posibles del sujeto. El tiempo físico, empero, presupone también un conjunto de correspondencias entre las medidas de los diversos observadores situados en puntos de vista diferentes: pero la coordinación entre dichos puntos de vista sólo puede ser construida en función de las leyes experimentales que conciernen a las velocidades y en especial la invariancia de la velocidad de la luz.

Finalmente, donde la diferencia es más palpable es en el campo métrico. El espacio real o físico es euclidiano o riemaniano, o hasta no arquiemediano, etc., de acuerdo con las escalas de observación y los dominios considerados, lo que presupone una interacción entre las propiedades del objeto y las coordinaciones operatorias del sujeto. Pero el espacio ideal, vacío de objetos reales, construido por la geometría, puede presentar todas esas estructuras y muchas otras más, ligadas unas a las otras según una jerarquía de relaciones lógicas. El tiempo físico, puede, por su lado, ser absoluto o relativo según las escalas de observación, lo que presupone igualmente una colaboración entre los caracteres del objeto y los esquemas de coordinación del sujeto. Al respecto, se puede comparar el tiempo relativo con las geometrías no euclidianas, como lo ha hecho Gonseth: "la construcción de los universos relativistas ha roto definitivamente el carácter de realidad tangible que se atribuía a la cinemática clásica —como al espacio euclidiano antes de la construcción de los espacios no euclidianos".[17] Pero subsiste diferencia esencial de que un tiempo ideal, vacío de todo contenido físico, no será ni

[17] *Fondements*, pág. 148.

absoluto ni relativo sin una determinación de velocidades. Sin duda "llegará acaso un día en que los matemáticos —quizá también algunos físicos— encuentren placer y provecho en examinar todas las mecánicas abstractas y clasificarlas según las reglas de la Axiomática".[18] Sólo quedará sin duda el hecho de que (a menos que existan construcciones cronométricas nuevas y en contradicción con lo que acabamos de decir sobre la ciencia actual del tiempo) se tratará entonces de axiomáticas que se refieran a nociones extraídas del objeto, así como abstraídas de la acción, mientras que las axiomáticas geométricas pueden ser construidas solamente mediante operaciones aplicadas por el sujeto a los objetos.

4. El movimiento y la velocidad. Así como la formación de las nociones de movimiento físico y de velocidad gobierna la constitución de la idea del tiempo, suministra también la clave de la evolución del concepto de fuerza. Corresponde pues que prestemos una particular atención a aquellas nociones.

La noción de movimiento pertenece a aquellas cuyas raíces penetran profundamente en la actividad del sujeto, puesto que desde el nivel sensoriomotor los movimientos propios y los movimientos impresos a las cosas engendran simultáneamente el concepto físico del objeto y el grupo práctico de los desplazamientos geométricos. Ahora bien, desde sus formas más elementales, el movimiento presenta dos polos ligados, desde luego, de una manera continua, pero que el análisis distingue fácilmente. Esos dos polos corresponden a lo que hemos llamado el aspecto general o coordinación de las acciones, fuente de las operaciones de carácter lógico y matemático, y el aspecto especial o característico de actos particulares, fuente de las operaciones físicas. En su aspecto más general (el que está ligado a las coordinaciones comunes a todas las acciones), el movimiento es un desplazamiento, es decir un cambio de posición o de "emplazamiento". Hay, en efecto, muchas acciones en las cuales el niño sólo se interesa por cierto cambio de orden, no considerándose la trayectoria sino en función de ese cambio de lugar: ocurre así que el niño saca un objeto de una caja para colocarlo en otra, lo que implica "colocar" el objeto de cierta manera, luego "desplazarlo", para volver a colocarlo en otro sitio. Por otra parte hay acciones en las que el movimiento no es un simple desplazamiento, sino un acto más completo que presupone el esfuerzo (y, por ende, la velocidad en forma de aceleración) y la duración, además del cambio de posición y de la trayectoria seguida: desplazar un objeto pesado o imprimir un movimiento rápido a una pelota son ejemplos de esos actos especializados. Ese segundo aspecto del movimiento es el que nos interesa aquí y el que configura sus caracteres físicos.

En el momento incipiente de la idea de movimiento (de la idea, por oposición a la organización sensoriomotriz, anterior a la representación conceptual), es decir durante todo el período del pensamiento intuitivo y

[18] *Ibid.*, pág. 149.

preoperatoria, el movimiento físico y el movimiento geométrico no están diferenciados entre sí. Esto no significa en modo alguno que el uno derive del otro, sino que los dos polos de la acción, que acabamos de distinguir por el análisis, están demasiado próximos todavía entre sí para que los distinga el propio sujeto. Una experiencia crucial permite ponerlo en evidencia: basta preguntar a un niño si un camino rectilíneo en pendiente abarca, en cuanto al espacio recorrido y al margen del tiempo y de la velocidad, una longitud mayor en la subida que en el descenso. Hasta los seis o siete años la solución no presenta duda alguna: el camino es más largo en la subida y cuando el niño acepta efectuar la medida con una tira de papel queda asombrado al encontrar el mismo valor en ambos sentidos.[19] Hemos comprobado igualmente que la distancia es concebida como mayor entre la cima de un árbol pequeño y la de uno más alto que en el sentido contrario. Sólo en el nivel de las operaciones concretas (después de los siete años) la distancia o la longitud se vuelven simétricas. Reiteremos que esto no prueba en modo alguno que esos conceptos matemáticos sean extraídos del mundo físico por una simple abstracción: los conceptos matemáticos ya están dados en la acción ejercida por el sujeto sobre los objetos, y la acción los añade a las propiedades del mundo físico que, por otra parte, concuerdan siempre con aquéllos. Del mismo modo todo concepto físico presupone una acción que asimismo agrega algún elemento a los datos de la realidad, pero los combina con otros elementos que son extraídos de esa realidad. Es, entonces, en el interior de la acción donde se efectúa la diferenciación progresiva entre lo que es operación geométrica y operación física, sin que ninguna de las dos clases de operaciones derive de la otra: las acciones u operaciones físicas están simplemente ligadas entre sí por las coordinaciones generales que engendran las operaciones lógico-matemáticas; pero las acciones físicas no derivan de esas coordinaciones, como tampoco la inversa es cierta, a pesar de la indiferenciación relativa inicial.

Después de efectuada esa diferenciación, el principal aspecto físico del movimiento está caracterizado por la velocidad, y el problema que debemos tratar aquí es, en esencia, el de la formación de la idea de velocidad, subordinando a dicho análisis el de los otros aspectos del movimiento real.

Ahora bien, es importante señalar que el concepto de velocidad interviene tardíamente en la historia del pensamiento científico. Aristóteles, escribe H. Carteron,[20] define la velocidad diciendo simplemente "que el más veloz es aquél que recorre un espacio igual en un tiempo menor, o un espacio mayor en un tiempo menor. Conoce, pues, nuestra función velocidad, pero está lejos de concebirla como autónoma; prefiere definir el τᾶττον y no el τάχος ; la expresión τάχος a menudo se vincula con un sujeto y se la considera como una cualidad de aquél; desde ese punto de vista, la rapidez debe distinguirse de la lentitud y no es susceptible de

[19] Véase Piaget: *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. París, PUF, cap. IV.

[20] H. Carteron: *La notion de force dans le système d'Aristote*. París, Vrin, págs. 4-5.

más o de menos; esos dos rasgos definen el régimen de un movimiento, y el régimen no es sino el tiempo, el lugar y el término. No obstante, se puede reconocer en algunos pasajes un esfuerzo para destacar una idea general de la velocidad: la rapidez y la lentitud se hallan en todas las especies de movimiento; por consiguiente no constituyen diferencias específicas, ni entre los movimientos, ni en un mismo cuerpo; del mismo modo existe una velocidad de lo que es lento... Sin embargo esa idea de velocidad tiene poca consistencia en la mente de Aristóteles y no le presta servicio alguno; se tiene una prueba muy clara de esto en el hecho de que reconoce a los movimientos una sola dimensión por la cual son comparables, y es el tiempo. No ha formado, por ende, el concepto de velocidad rectilínea uniforme que utiliza implícitamente".

¿Cómo explicar esa extraordinaria confusión de la física aristotélica y ese carácter tardío del concepto de velocidad? Con toda seguridad, porque el movimiento, vinculado primero con el esfuerzo, es concebido por esa razón precisamente, como si fuera orientado hacia una meta. Esa finalidad psicológica constituyó inclusive un concepto físico esencial hasta el advenimiento del mecanicismo: no hace falta recordar cómo, para Aristóteles, todo movimiento sublunar (por oposición a los movimientos circulares o "perfectos" de los cuerpos celestes) está dirigido hacia un fin, que es el estado de reposo asignado por el lugar propio del móvil. Ahora bien, es evidente que aun si la naturaleza inicial del movimiento físico está relacionada con un esfuerzo dirigido hacia una meta, la concepción de la velocidad permanece incluida en la del esfuerzo: éste consiste psicológicamente (insistiremos al respecto al tratar el concepto de fuerza) en una aceleración de la acción e implica así un elemento de velocidad, aunque sometido a una regulación intencional y, por ende, a la finalidad del acto.

Más aún. Si estamos mal informados sobre la historia primitiva del concepto de velocidad, podemos seguir su formación en el niño y comprobar, entonces, que la consideración de la meta o del término de los movimientos condiciona precisamente la intuición elemental de sus velocidades. Al principio, el movimiento es concebido en esencia como un impulso intencional que tiende a un fin, que es su punto de llegada. Por otra parte, desde un enfoque matemático, es también su punto de llegada el que lo determina primero, al margen de su trayectoria. Por ejemplo, los sujetos jóvenes, en presencia de dos caminos rectilíneos y paralelos, tales que el punto de origen de uno está corrido con respecto al punto de origen del otro, estiman que los móviles han recorrido el "mismo camino largo" cuando se detienen uno enfrente del otro: por lo tanto, la coincidencia de los puntos de llegada, al margen del orden de la sucesión espacial de los puntos de origen y de la longitud de los trayectos, es lo que determina la igualdad de los desplazamientos. En otras palabras, la intuición del orden prevalece sobre la de las trayectorias, y ese orden de sucesión sólo se aplica al principio a los puntos de llegada, dado el carácter finalista de la idea inicial del movimiento: para ser más precisos, el aspecto matemático y el aspecto físico del movimiento son indiferenciados al comienzo, como lo

acabamos de ver, y eso ocurre porque la intuición del orden que basta a los pequeños para caracterizar los emplazamientos y desplazamientos geométricos, se aplica del mismo modo a la sucesión de los medios y de los fines, es decir, a las metas de los impulsos intencionales que caracterizan al principio el aspecto físico de los movimientos. Es interesante observar que ocurre exactamente lo mismo con las velocidades y es lo que permite observar paso a paso cómo el concepto físico de velocidad se diferencia poco a poco del concepto geométrico de desplazamiento.

La intuición elemental de la velocidad descansa, en efecto, también sobre una idea de orden: al comienzo es la intuición de sobrepasar, siendo el más rápido de dos móviles aquel que logra sobrepasar al otro.[21] Mas, si la idea de sobrepasar llega a implicar tarde o temprano una coordinación temporal y adquiere así un contenido físico, además de la idea de impulso y de esfuerzo, propio de todo movimiento, habrá que señalar que bajo su forma más primaria esa noción comienza por apoyarse únicamente en las coordinaciones generales (lógico-matemáticas por lo tanto) de orden espacial: por ejemplo, si un móvil que ha salido de un punto más alejado que otro móvil casi llega a alcanzar al primero, se juzga que el segundo es a pesar de todo más rápido y sobrepasa a aquél; o también cuando dos móviles recorren uno frente a otro dos pistas circulares concéntricas de longitudes muy desiguales, los sujetos jóvenes pretenden que ambos móviles tienen la misma velocidad, porque ninguno de los dos sobrepasa al otro (o también, el que recorre la pequeña pista es más rápido porque podría llegar más pronto, es decir, sobrepasar al otro). Resumiendo, la intuición de sobrepasar que está en los orígenes de la noción de velocidad, empieza por basarse sobre el orden espacial de los puntos de llegada, es decir, sobre una coordinación general similar a la que constituye la idea de desplazamiento.

Pero, tarde o temprano, la intuición de sobrepasar se articula, y esa articulación apela a un contenido más diferenciado del orden espacial que las simples nociones de impulso dirigido hacia una meta, comunes a todos los movimientos. Hay una articulación de la intuición, apenas se agrega a la pura comprobación del orden de los puntos de llegada una puesta en relación de éstos con los puntos de partida y, sobre todo, una anticipación o una reconstitución intuitivas que permiten o bien prever lo que sería de los dos movimientos si continuaran más allá de su punto de llegada, o bien comparar los movimientos en el caso de direcciones contrarias sobre trayectorias paralelas o trayectorias no paralelas. En efecto, se comprueba que antes de poder concebir la velocidad como una simple relación entre el tiempo y el espacio recorrido, el niño se limita a generalizar la idea de sobrepasar, refiriendo *in mente* uno de los trayectos comparados al otro, o prolongando *in mente* los movimientos percibidos: llega así a concebir juicios exactos basados en lo que se podría llamar "sobrepasos" virtuales.[22] Resulta claro que el sobrepasar, generalizado así, implica

[21] Véase *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, cap. VI.
[22] *Ibid.*, cap. VII.

entonces un elemento físico, tomado de los objetos mismos y no una mera coordinación general referida al orden espacial de los puntos de llegada enfocados como meta o estado de reposo final. Por una parte, en efecto, si dos móviles A y B se encuentran, en un principio, en el orden AB y luego en el orden BA, es porque uno tenía más "impulso" que el otro, etc. Por otra parte, la inversión del orden espacial no implica solamente una diferencia dinámica, sino una coordinación temporal.

A ese respecto, el avance decisivo en cuanto a poner en relación el espacio recorrido y el tiempo (y por ende en cuanto a la velocidad concebida como una relación espacio-temporal y no como una mera relación de orden o de "sobrepaso") se debe a una correspondencia establecida entre puntos cada vez más numerosos de los itinerarios seguidos por dos movimientos distintos. Generalizando la idea de sobrepasar y, para comparar dos velocidades, el sujeto llega no sólo a considerar los puntos mismos en que un móvil sobrepasa al otro, sino a poner en correspondencia cualquiera de los puntos sucesivamente recorridos por uno de los móviles, con los puntos sincronizados del camino recorrido por el otro. Esta puesta en correspondencia es la que constituye a la vez los "estados" temporales y su sucesión cronológica (de la cual hablábamos en el § 3, punto 1), es decir el tiempo, que constituye por lo tanto una coordinación de las velocidades propiamente dicha, y el concepto de velocidad en cuanto relación entre el espacio recorrido y la duración. Llegamos aquí al nivel alcanzado por las operaciones cualitativas que conforman el tiempo (véase § 3), es decir, el nivel de las operaciones concretas (siete a ocho años).

Aunque de ese modo la velocidad se convierte en una relación entre el tiempo y el espacio, por el mero hecho de que el tiempo acaba en ese nivel su elaboración en cuanto coordinación de velocidades, debe comprenderse que sigue tratándose de una relación cualitativa, es decir de cantidades simplemente intensivas. En otros términos, todavía no hay medida de las velocidades, por no poder compararse entre sí las velocidades de los movimientos sucesivos; las únicas determinaciones exactas son las que atañen a movimientos parcialmente o totalmente sincrónicos y sólo en los cuatro casos siguientes: 1) de dos móviles que se desplazan durante tiempos iguales, aquel que hace el camino más largo es el más rápido; 2) de dos móviles que recorren los mismos caminos, el que invierte menos tiempo es el que marcha más rápidamente; 3) el que hace más camino en menos tiempo va más rápido; 4) el que hace menos camino en más tiempo se mueve más lentamente. Pero el caso en que un móvil hace más camino en más tiempo (o menos camino en menos tiempo) queda indeterminado, si uno no sobrepasa al otro por falta de un cálculo posible de las proporciones que se aplique simultáneamente al espacio y al tiempo. Señalemos que Aristóteles, que conocía empero las proporciones geométricas, parece haberse quedado en esa idea cualitativa de la velocidad (como se ha visto en el texto de Carteron).

Sólo después de haber logrado esa elaboración cualitativa de la velocidad, es cuando la medida del tiempo y la conservación de la velocidad se vuelven posibles simultáneamente apoyándose una sobre la otra. Por

una parte, la conservación de un movimiento rectilíneo y uniforme se adquiere por la iteración de una unidad de distancia recorrida A; A + A; A + A + A; etc., y por la comprobación (con referencia a otro movimiento que recorra el mismo espacio total en el mismo tiempo) de que permutando los segmentos A_1; A_2; A_3; etc., no se modifica la relación entre el espacio recorrido y el tiempo: el recorrido de la unidad A se vuelve así unidad de tiempo y, a la vez, principio de cuantificación de la velocidad uniforme.[23] En cuanto a la medida de la velocidad de los movimientos en general (tanto sucesivos como simultáneos), se basa tanto sobre esa medida del tiempo como sobre la intervención de las proporciones en la forma $e_1 / e_2 = t_1 / t_2$.

Finalmente, en el nivel de las operaciones formales (11-12 años), el niño normal hace un descubrimiento que resulta esencial para la evolución de los conceptos de velocidad y de movimiento: el de la composición de las velocidades relativas. Se coloca, por ejemplo, un caracol sobre una tablita y, a partir de un punto de referencia A, se hace avanzar la tablita hasta B, mientras que el caracol recorre en la tabla un trayecto igual a la misma velocidad. Los sujetos de 11-12 años, al no ver simultáneamente los dos trayectos, logran comprender muy bien que el caracol recorrerá así 2 AB, si camina en el mismo sentido, y permanecerá en el mismo lugar, si camina en el sentido inverso: resultará $w = v + v'$ y $w = v - v'$ según los sentidos. Comprenderán, además, diversas combinaciones de movimientos posibles, mientras que los sujetos jóvenes no llegan a ninguna combinación, por no saber dar al movimiento relativo un sistema de referencia que esté a su vez en movimiento.

Ahora bien, ocurre a menudo en tales experimentos que el sujeto descubre espontáneamente la relatividad del movimiento: "es como si la carretera retrocediera cuando él avanza", etc.[24] En ese nivel el sujeto deja de pensar, con Aristóteles, que un viajero sentado en un barco está inmóvil,[25] porque deja de relacionar el movimiento únicamente con la actividad del sujeto, para establecer una relación con los puntos y los ejes de referencia.

Tal es, a grandes rasgos, la evolución de los conceptos de velocidad y de movimiento físico. Comprueba, como la evolución del concepto de tiempo, la existencia de dos procesos cuya importancia debe subrayarse desde el punto de vista epistemológico. En primer lugar, aunque esos conceptos presuponen, desde el comienzo, algún elemento relacionado con la experiencia de las acciones propias y con las propiedades físicas de los objetos sobre los que esas acciones se ejercen (esfuerzo y resistencia, impulso y finalidad, continuación de la acción, etc.), están dominados, no obstante, desde el principio, por las coordinaciones generales de la acción en su forma

[23] Véase para los detalles: *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, cap. x.

[24] Véase *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, cap. v, § 4 y cap. VIII, § 4.

[25] Véase Carteron, *loc. cit.*, pág. 2.

espacial en particular: es la intuición del orden la que gobierna primero el tiempo y el movimiento, como una seriación de acontecimientos y de posiciones, y luego la velocidad misma, como una idea de sobrepasar. Poco a poco las coordinaciones específicas, correspondientes al movimiento físico, a la velocidad y al tiempo se van diferenciando de las coordinaciones generales de carácter espacial, quedando sin cesar subordinadas a éstas. Estamos aquí en presencia de un primer ejemplo de un proceso de diferenciación entre las coordinaciones lógico-matemáticas y las acciones físicas coordinadas por ellas, la recíproca de lo que hemos visto acerca de los conceptos matemáticos. Vimos, en efecto (vol. I, cap. III, § 7), que los conceptos matemáticos empiezan por no diferenciarse de los conceptos físicos (por ejemplo, el grupo de los desplazamientos concierne primero a los desplazamientos reales, de velocidades finitas y que se suceden en el tiempo), por el hecho de que los primeros resultan de las coordinaciones generales de la acción, y los segundos, de las acciones particulares o especializadas, coordinadas por los primeros. Resulta, por ende, que los conceptos matemáticos provienen de una abstracción que parte de la acción: la abstracción se origina por una toma de conciencia progresiva de las coordinaciones, provocada por la diferencia creciente entre éstas y las acciones físicas particulares que ellas coordinan. Recíprocamente, vemos cómo esta misma diferenciación llega a disociar gradualmente las nociones físicas de velocidad y de tiempo, de las coordinaciones espaciales que las dominan, primero con exceso y de un modelo deformante, y luego las coordinan de un modo simple.

En cuanto a las intuiciones y nociones físicas diferenciadas así de las coordinaciones iniciales de la acción, obedecen a un segundo proceso de evolución, correlativo con la diferenciación misma de aquéllas: la comparación y la composición de los movimientos son descentradas poco a poco, teniendo en cuenta los términos finales de esos movimientos, para dar lugar a una correspondencia entre los diversos puntos de sus trayectorias respectivas. Dicho de otro modo, esta evolución procede de un finalismo inicial y egocéntrico hacia la continuidad racional implicada en la composición operatoria: de ahí resultan las tres etapas de la constitución del concepto de movimiento que se caracteriza: primero por su punto de llegada y una velocidad concebida como el simple hecho de sobrepasar; luego por su trayectoria, con la velocidad concebida como una relación (cualitativa y después métrica) entre el tiempo y el espacio recorrido; y, finalmente, por la existencia de los movimientos relativos que se pueden componer entre sí, y una composición métrica de las velocidades.

De hecho, el pasaje del dinamismo finalista al mecanismo de estructura operatoria es el que determina así esta evolución, en paralelo con el desarrollo histórico desde la física antigua hasta Galileo. La correspondencia entre los puntos de las trayectorias había sido explicada sin embargo con mucha precisión por las aporías de Zenón de Elea, con respecto a las cuales Aristóteles marca un retroceso evidente por su retorno a los conceptos del sentido común. En cuanto a la idea de un movimiento relativo, ya estaba en germen en la hipótesis de los atomistas sobre la posibilidad

de un movimiento local en el vacío. ¿Qué le ha faltado, entonces, a la Antigüedad para constituir una cinemática y una mecánica racional? Un análisis suficiente de la idea de fuerza, sin duda. El carácter primitivo de la idea de velocidad, en Aristóteles, no proviene solamente de su defecto de elaboración operatoria y cuantitativa: se debe también, y quizá sobre todo, al hecho de que en su física, como en la del niño, la velocidad es siempre la expresión directa de una fuerza: el movimiento tiende hacia una meta y procede de una especie de impulso. De ahí surge el principio fundamental de la física de Aristóteles, según el cual la velocidad es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia (resistencia producida por la masa del móvil o el medio circundante: el aire, etc., lo que implica el lleno). Sin resistencia el móvil alcanzaría inmediatamente su término, pero sin fuerza no se pondría en movimiento ni lo conservaría. Luego la fuerza es para él no sólo la causa de la aceleración, sino de toda velocidad y ella misma aparece como el producto de la velocidad por la resistencia. Los obstáculos que se oponen al desarrollo de la idea de velocidad no derivan solamente del finalismo de los movimientos, como lo hemos visto en este parágrafo: resultan también y, sin duda en su mayor parte, de la idea insuficientemente analizada de fuerza, concebida como causa de todo movimiento. Pero, a este respecto, como en el caso del tiempo y de las velocidades, se forma un círculo, pues la constitución de la idea científica de la fuerza se debe, como es sabido, al concepto de la aceleración, es decir, nuevamente a un concepto de velocidad.

5. La génesis y las formas precientíficas de la idea de fuerza. La eliminación del finalismo, en favor de la composición operatoria de los movimientos y de las velocidades, encuentra su paralelo exacto en la eliminación de los factores subjetivos, inherentes a las ideas primitivas de fuerza, en provecho de una concepción operatoria fundada sobre la idea de aceleración.

Todos convenimos en buscar el punto de partida de la idea de fuerza en la experiencia que tenemos de nuestro esfuerzo muscular, componente esencial de la acción. Pero, por otra parte, la historia de las ciencias parece mostrar que esta analogía entre la fuerza física y el esfuerzo muscular era engañosa, puesto que el concepto objetivo de fuerza se ha desprendido cada vez más de la fuerza activa y sustancial imaginada por Aristóteles sobre el modelo de nuestra intuición subjetiva. ¿Habrá que admitir entonces que la propia acción ha provisto, con los conceptos de movimiento y de velocidad, de dos ideas que la historia ha revelado como racionales, mientras que con la idea de fuerza nos ha inducido en error?

Esta cuestión ha originado serias confusiones e importa tratar de disiparlas, haciendo una comparación entre los desarrollos divergentes o convergentes de esas tres ideas y, sobre todo, para empezar, haciendo un análisis de la psicogénesis respectiva. En efecto, si las ideas de movimiento y de velocidad han aparentado ser racionales al emanar de nuestra acción, es porque se han plegado, como se acaba de ver, a las

condiciones de una disociación rigurosa entre lo que es, en la acción, operatorio o fuente de operaciones posibles (caracterizadas por su composición reversible), y lo que es, en la misma acción, toma de conciencia egocéntrica, e inadecuada por ende, por parte del sujeto: en el caso del movimiento y de la velocidad, el elemento operatorio es suministrado por las coordinaciones espacio-temporales, es decir por las operaciones lógico-matemáticas y físicas que aseguran el establecimiento de la relación entre los desplazamientos y la duración, etc., mientras que el elemento de deformación egocéntrica está constituido por la finalidad y las intuiciones que a ella se refieren, o sea por una centración privilegiada e ilegítima del pensamiento sobre el término final de los movimientos. En el caso de la idea de fuerza, ocurre exactamente lo mismo, e importa efectuar la misma disociación entre los elementos operatorios de la acción y su toma de conciencia subjetiva y deformante.

No se trata en modo alguno de negar que la idea de fuerza haya surgido de nuestra experiencia, del esfuerzo muscular o del esfuerzo en general. Pero es indispensable desde el punto de vista epistemológico, distinguir el punto de vista de la acción objetiva, fuente de operaciones posibles, y el de la toma de conciencia egocéntrica, pues cada uno ha desempeñado su papel en la historia del concepto de fuerza, pero los valores respectivos de esos papeles eran opuestos. Objetivamente, el esfuerzo es una conducta, como lo ha mostrado P. Janet, basándose en los análisis de J. M. Baldwin y de J. Philippe, y es precisamente una conducta o una regulación de la aceleración: continuar meramente una acción (como en una carrera de bicicletas) no es un esfuerzo, en tanto que esa acción prosiga sola, cualquiera que sea la velocidad de los movimientos en juego, mientras que hacer un esfuerzo es agregar un impulso a la acción desfalleciente o pasar de un ritmo dado a un ritmo superior. Ese elemento de aceleración de la acción es precisamente el que corresponde a la idea física de la fuerza.

Por el contrario, además de la "conducta del esfuerzo", existe un "sentimiento del esfuerzo", es decir, una toma de conciencia más o menos adecuada de la conducta de la aceleración. El papel que ha desempeñado el sentimiento del esfuerzo en la psicología moderna es sumamente instructivo desde el punto de vista de una epistemología de la acción o de la operación. Maine de Biran ha interpretado el sentimiento del esfuerzo (por oposición a la conducta correspondiente) como la fuente, no solamente, de la idea de fuerza, sino también de la idea misma de causalidad: el sentimiento de fuerza estaba relacionado, creía él, con la corriente nerviosa eferente que va del cerebro a los músculos y traduce así, directamente, la acción de nuestra voluntad, es decir de la "fuerza" psíquica aprehendida inmediatamente como una causa y aun como la única causa dada en la experiencia pura. Pero William James y los psicofisiólogos contemporáneos se han visto inducidos a invertir los términos de la relación: el sentimiento del esfuerzo es centrípeto y periférico, y no central o centrífugo. Es la expresión de la resistencia sentida por los órganos que están en contacto con el objeto y así es como atribuimos el esfuerzo a nuestro yo

y a la voluntad, por una elaboración derivada de esa impresión periférica. De modo que la toma de conciencia ligada a la conducta de la aceleración no traduce su mecanismo íntimo, sino solamente el resultado y esto se produce conforme a una ley general, según la cual la toma de conciencia procede del exterior al interior, es decir del término del acto a sus coordinaciones previas.

Hay, por lo tanto, en la experiencia de la fuerza vinculada con nuestras acciones una dualidad muy comparable con la que se encuentra en la experiencia activa del movimiento y de la velocidad: por una parte, la acción propiamente dicha, fuente de operaciones objetivas y, por otra parte, la toma de conciencia subjetiva, egocéntrica y deformante de la acción. Ahora bien, la acción misma es aquí una conducta de aceleración, fuente de la idea racional de la fuerza y ligada estrechamente con la idea de velocidad, mientras que la toma de conciencia de la fuerza, fuente de la idea precientífica de una fuerza creadora y sustancial, es análoga a la toma de conciencia inicial del movimiento y de la velocidad, es decir, a la idea de finalidad.

El paralelismo es, pues, completo. En efecto, el destino histórico de la idea inicial de la fuerza sustancial ha sido semejante al de la idea de causa final en física, mientras que la permanencia de las ideas de fuerza, fundada sobre la aceleración, y de energía, basada sobre las transformaciones de la fuerza, ha demostrado ser tan duradera, si no más, como la de las ideas simples de movimiento y de velocidad. Conviene recordarlo en pocas palabras.

Nacida de una toma de conciencia inadecuada del esfuerzo muscular, en el plano sensoriomotor, la idea de fuerza se ha vinculado inmediatamente, en el plano del pensamiento intuitivo y prelógico, con el animismo y el artificialismo. Por una parte, en efecto, en la medida en que el yo, consciente e intencionado, se siente como causa directa de los propios movimientos, todas las actividades y todos los movimientos percibidos en el mundo exterior, se asimilan al principio a ese mismo esquema: de aquí surge el animismo infantil que empieza por asignar vida y conciencia a toda acción material externa, luego las reserva a los movimientos propiamente dichos, luego a los movimientos que parecen autónomos (el viento y los astros) y sólo al final, a los animales y a los hombres. Por otra parte, entre los seres a los cuales el sujeto acuerda vida y conciencia, los hay muy poderosos y fuertes que han fabricado a los demás y les han impuesto las reglas que constituyen las leyes de la naturaleza: son los padres o los adultos, o los Dioses. Ese artificialismo nada tiene de contradictorio con el animismo, puesto que los bebés, el Sol y la Luna, las montañas, etc., son concebidos a la vez como fabricados y vivientes, como "nacidos" y no obstante susceptibles de crecimiento. En ese nivel mental, la fuerza es imaginada en las sociedades primitivas como un "maná" esparcido en la naturaleza y en la sociedad, que emana de la compulsión del grupo, es decir de la voluntad de los antepasados y de la vida de los seres y de los hombres.

La fuerza primitiva es por lo tanto y en esencia la causa de los movimientos y de todos los movimientos, desde el simple movimiento de traslación hasta el crecimiento y el cambio en general (esos *motus ad formam, ad calorem*, etc., que Descartes tildaba de ininteligibles). Como tal, procede de una causalidad alternadamente biomórfica o sociomórfica y moral, es decir, egocéntrica en diversos grados y nacida de la toma de conciencia inadecuada de la propia acción. Los seres, móviles o aun fijos, no están pues determinados mecánicamente, sino desde adentro, merced a su fuerza viviente, y a la vez desde afuera, merced a la fuerza de las voluntades creadoras. Así, la luna se mueve porque es viviente, pero viene a iluminarnos por la noche y no de día "porque no es ella la que gobierna", etc.[26] Sin duda es esa bipolaridad inicial la que se encuentra en el punto de partida del esquema de los dos motores, que volvemos a encontrar en el nivel siguiente, el de la fuerza, en el sentido aristotélico del término. Señalemos también cuán pareja marcha esa fuerza primitiva con el finalismo de los movimientos (§ 4) vinculado también con el animismo: todo movimiento queda así enmarcado entre una causa que es una fuerza viva y un fin que es el punto de llegada, fijado por una doble intención interna y externa al mismo tiempo.

Esa idea animista y artificialista de la fuerza desaparece, por lo general, al término del período intuitivo o preoperatorio. Con el período de las operaciones concretas (comienzo de las coordinaciones espacio-temporales) asistimos, por el contrario, en el pensamiento del niño, a un desarrollo de la idea de fuerza que interesa desde el punto de vista de las analogías con el dinamismo de la física de Aristóteles. Definida la velocidad como una relación cualitativa entre la duración y el espacio recorrido, sin métrica suficiente y sobre todo sin composición de las velocidades relativas, el principio de inercia resulta inconcebible y todo movimiento requiere, además, una causa particular, que será precisamente la fuerza. Pero esa fuerza será entonces sustancial y emanará de los mismos cuerpos, sin transferencia posible; y ante todo será activa, en un sentido creador, por ser la manifestación de una actividad espontánea y por tener fin sólo después de haber alcanzado su resultado. Heredera del animismo y del artificialismo del nivel precedente, será una vida, pero sin conciencia, y una actividad productora, inmanente a la naturaleza y a los cuerpos.

Una consecuencia fundamental de esa ausencia de cinemática o de relatividad del movimiento, sería entonces la siguiente: cuando un cuerpo actúa sobre otro, no podría haber un simple movimiento transitivo, ni transferencia de energía; la fuerza de uno de los móviles se limitará entonces a excitar la del otro, es decir que el movimiento presupondrá un doble motor, un motor interno que es la propia fuerza del móvil, y un motor externo que sirve de arranque al primero. Un movimiento tan simple, en apariencia, como el del agua de un río que corre por una pendiente se explica, por ejemplo, por la unión de dos causas: el agua tiene "su impulso" que es el motor interno; pero, por otra parte, hace falta que alguna fuerza

[26] Véase Piaget: *La causalité physique chez l'enfant*. París, Alcan.

exterior lo excite y ésta puede ser el viento, el aire, etc., pero sobre todo los guijarros, alrededor de los cuales el agua forma remolinos porque "toma su impulso" para sobrepasarlos y franquear el obstáculo. La relación del viento y de las nubes es otro ejemplo notable de ese tipo de explicación: las nubes avanzan a causa del viento que las empuja, pero ¡ellas mismas producen viento al desplazarse!

Esa explicación, cuya frecuencia ha llamado nuestra atención, nos ha incitado a formular a nuestros sujetos la célebre pregunta del movimiento de los proyectiles, que Aristóteles —según sabemos— se ha visto inducido a plantear por las dificultades que presenta en este caso la teoría de los dos motores: el lugar propio de los cuerpos graves está abajo; ¿cómo ocurre entonces que la flecha al abandonar el arco no caiga directamente en el suelo, si ya no está más acompañada por su motor externo? El interés de esta pregunta reside en el hecho de que ella constituye una especie de índice de la reacción al movimiento inercial: de acuerdo con la idea peripatética de la fuerza, no se trata de que la flecha conserve simplemente el impulso recibido, como pareciera ser evidente para el sentido común. Aquí es donde el análisis genético se muestra necesario, pues el sentido común no es más que el residuo de las ideas correspondientes al ambiente de una época y en particular de las atinentes a las técnicas de la sociedad considerada. Nuestro sentido común puede estar influido, por lo tanto, por la mecánica clásica a través del maquinismo; cualquier automovilista sabe que el aire que levanta su coche no lo empuja, sino que lo retarda, a menos que se le dé una forma que permita utilizar los remolinos. ¿Qué ocurre con el niño? Hemos formulado la pregunta mencionando ya sea el lanzamiento de una pelota, ya sea el trayecto de una cerilla proyectada con un movimiento brusco del índice y que resbala hasta el borde de una mesa para continuar luego en el aire. Ahora bien, las reacciones han sido muy claras: en el nivel preoperatorio el sujeto se limita a decir que la pelota o la cerilla describe su trayectoria "porque usted la lanza"; pero, en el nivel de las operaciones concretas (en particular hacia los nueve o diez años) el niño suministra exactamente las dos explicaciones complementarias invocadas por el mismo Aristóteles. Por una parte el proyectil es impulsado por el aire que él mismo desplaza al avanzar ("reacción circundante" o ἀντιπερίστασις) y, por la otra, es acompañado por el aire que la mano sacude al empujar el objeto. En el vacío, según el niño, la pelota o la cerillla caerían enseguida.

Finalmente, en el nivel de las operaciones formales, el concepto de fuerza, conservando naturalmente algunos de los rasgos elaborados durante los períodos precedentes, evoluciona, no obstante, porque el sujeto se vuelve capaz de componer velocidades y captar la relatividad del movimiento. La reacción circundante está pues eliminada y el movimiento de los proyectiles se explica por una simple conservación del impulso recibido, por analogía con la teoría del *impetus* que algunos autores del Medioevo habían tomado de Hiparco para oponerla a la de Aristóteles. Por el contrario y en oposición con ese principio de conservación del movimiento que tiende a eliminar el papel de las fuerzas, se ve asomar, merced al avance de la

métrica y de la composición de las velocidades, un concepto relativamente exacto de la aceleración, por ejemplo en el caso del movimiento de caída sobre un plano inclinado:[27] es esta misma idea la que se halla en el punto de partida del concepto científico de la fuerza.

Comprobamos en resumen que, por analogía con la constitución de los conceptos de tiempo, de movimiento y de velocidad, el desarrollo de la idea de fuerza resulta de una descentración progresiva de las relaciones, a partir del egocentrismo inicial y orientada a establecer una puesta en relación operacional. Vinculada primero con una toma de conciencia inadecuada del esfuerzo inherente a la propia actividad, la fuerza provee una aparente explicación para los movimientos cuyo arranque y cuyo retardo final permanecen en el misterio. Pero, interpretados así en función de la acción intencional, luego, simplemente en función de un dinamismo biomórfico, esos movimientos terminan por escindirse en dos categorías: aquellos que conservan más o menos su impulso inercial y son frenad s simplemente por el medio circundante, y aquellos cuya aceleración plantea el verdadero problema de la fuerza. Aquí se detiene el análisis embriológico, por así decirlo, del concepto de fuerza y se impone la necesidad de recurrir a la historia de las ciencias. Más interesante aún resulta señalar que mientras las representaciones precientíficas de la fuerza se deben a una asimilación deformante de los fenómenos a los esquemas extraídos del sentimiento del esfuerzo, el concepto científico de la fuerza comienza cuando los movimientos observados en el mundo exterior ponen de manifiesto esa aceleración cuya conducta del esfuerzo (en cuanto comportamiento objetivo y no en cuanto introspección subjetiva) suministra precisamente el equivalente biológico. De modo que, como ocurre a menudo, la descentración de la acción permite alcanzar simultáneamente lo dado objetivo externo y las raíces internas mismas de la acción descentrada: esto equivale a decir que, después de eliminar las adherencias subjetivas que falsean la toma de conciencia inicial de la fuerza, el sujeto descubre la aceleración en la experiencia exterior del movimiento de los objetos y, a la vez, en la experiencia interior de los movimientos propios. Aunque, desde luego, aquí como en todas partes, el descubrimiento de un hecho de experiencia (tanto interno como externo) presupone una coordinación operatoria que haga posible la lectura de este hecho. En el caso particular, esa coordinación atañe a la elaboración espacio-temporal de las velocidades. En conclusión, así como las ideas de tiempo, de movimiento y de velocidades sólo se vuelven racionales eliminando, por un proceso continuo de descentración, la finalidad inicial que resulta de una toma de conciencia incompleta, y constituyendo un sistema de coordinaciones operatorias, del mismo modo la idea de fuerza adquiere ese mismo carácter, desprendiéndose, por una descentración análoga, del sentimiento del esfuerzo, para insertar la experiencia de la aceleración en las coordinaciones espacio-temporales y cinemáticas.

[27] *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, cap. XI.

6. La evolución de los conceptos mecánicos y de los sistemas del mundo: del absoluto egocéntrico a la descentración relativista. El proceso de evolución que acabamos de analizar, tal como una descentración gradual de las ideas de tiempo, de movimiento, de velocidad y de fuerza, presenta el interés de converger con lo que parece ser la ley principal del desarrollo de las ideas mecánicas y de los sistemas del mundo en la historia de las ciencias. No se podría resumir aquí en algunas páginas la historia de las cosmologías, escrita por tantos buenos autores y aun por físicos del valor de P. Duhem. Es indispensable, empero, si se quiere tratar de explicar los conceptos científicos por su génesis psicológica, destacar, allí donde existen, los mecanismos comunes al desarrollo individual y al desarrollo histórico: no podría haber un terreno más propicio para semejante investigación que el de la eliminación de los factores subjetivos.

La gran lección que implica el examen de la génesis de las ideas cinemáticas y mecánicas es, en efecto, la dualidad de valor y de destino de los aportes que hace el sujeto en la construcción de tales conceptos: nacidas de la actividad propia, todas esas ideas son, subjetivas primero en tanto están condicionadas por el egocentrismo inicial de esa actividad; pero no llegan a descentrarse y a volverse objetivas sino gracias a un sistema de operaciones coordinadas que constituyen una segunda forma de la acción del sujeto. Existen pues dos manifestaciones de la actividad del sujeto: una es subjetiva por ser egocéntrica, y su importancia disminuye en el curso del desarrollo, mientras que la otra es operatoria y se manifiesta por la descentración y la coordinación, aumentando así su importancia en el curso de la evolución. Al egocentrismo pertenecen el tiempo propio inicial, que impide la constitución de un orden temporal común, las simultaneidades y las sincronizaciones entre las duraciones cuando los movimientos en cuestión son velocidades diferentes; al egocentrismo pertenecen también el finalismo, inherente a los movimientos determinados solamente por su punto de llegada y a las velocidades caracterizadas únicamente por el hecho de sobrepasar, finalismo que presenta así un obstáculo a la coordinación y a la medición de aquéllos, así como el animismo de la fuerza vinculada con el esfuerzo intencional. A la descentración operatoria pertenecen en cambio la constitución de un tiempo homogéneo (en nuestra escala), la medición y la composición de los movimientos y de las velocidades, y la relación de la fuerza con las aceleraciones distintas de los movimientos inerciales: ahora bien, la formación de cada uno de esos conceptos presupone la participación del sujeto que opera, en la medida en que la objetividad de los conceptos no atañe más a la intuición inmediata de una cosa —¡intuición que sigue siendo siempre egocéntrica por ser fenoménica!— sino a la elaboración de una relación con respecto a la cual el observador se ve obligado a situarse, al mismo tiempo que la está construyendo.

Todos ven que ese problema de la descentración está estrechamente emparentado con el que plantea la evolución de las teorías mecánicas y de las cosmologías: converge así con lo que se podría llamar la cuestión del desplazamiento gradual del absoluto. Formando un paralelo notable con lo que acabamos de mencionar acerca del desarrollo individual de

los conceptos, los absolutos falsos, vinculados con el antropocentrismo de las cosmologías primitivas, son reemplazados progresivamente por absolutos nuevos, pero cuyo carácter paradójico consiste en que son alcanzados sólo a través de un sistema de coordinaciones que vuelven relativos los puntos de vista del observador, aunque aseguran la objetividad del conjunto en virtud de su misma reciprocidad. El desarrollo de las cosmologías, así como el de la representación física individual, se caracteriza de esta manera por el paso del egocentrismo a la descentración y a la coordinación operatoria, y, por lo tanto, del egocentrismo al establecimiento de relaciones y al relativismo. El sujeto se convierte, por ende, de poseedor inmediato, aunque egocéntrico, de un absoluto, en el constructor mediato de nuevos absolutos y está tanto más seguro de sus conquistas cuanto más sale de sí mismo y concibe su punto de vista como más relativo. En otras palabras, el sujeto es un centro de relaciones y, en la medida en que se apoya sobre el centro, deforma la realidad de una manera comúnmente llamada "subjetiva", mientras que en la medida en que lo descentra, es decir, lo coordina con todos aquellos de los que pueden emanar otras relaciones, va construyendo relaciones de relaciones; dichas relaciones de grados crecientes constituyen entonces las operaciones cuya composición va ciñendo cada vez más de cerca el objeto. En esa descentración coordinadora es en la que el sujeto se muestra más activo, mientras que su egocentrismo inicial es sumisión pasiva desde el punto de vista espontáneamente ligado a la actividad propia. En cuanto al objeto, parece retroceder constantemente; pero de ese retroceso depende su determinación "objetiva"; por otra parte, quien dice retroceso dice por ende distancia cada vez mayor que debe recorrerse hasta el objeto y, por consiguiente, solidaridad entre dicha objetividad y los actos del sujeto.

Tal es el proceso que, después de haberse esbozado en la psicogénesis de los conceptos, caracteriza las grandes líneas de la historia de las concepciones mecánicas y cosmológicas. El principio de la epistemología genética consiste, en efecto, en tratar de determinar el papel que desempeñan el sujeto y el objeto, no enfocándolos en sí, sino en el proceso mismo del incremento de los conocimientos. En lo que a esto respecta, se puede tener la esperanza de captar el alcance de los conceptos más evolucionados, relacionando los extremos por medio de las leyes del desarrollo. Se ha querido, por ejemplo, utilizar la teoría de la relatividad con los fines más diversos, del idealismo al realismo, característicos de todos los matices metafísicos y positivistas. La cuestión se simplifica quizá si se trata simplemente de relacionar los pasos que da la mente, al construir semejante concepción, con las actitudes que culminan, en todos los niveles del desarrollo mental, en un avance de la objetividad gracias a una conquista de la puesta en relación. Si es cierto que la objetividad es función del retroceso del objeto y, por consiguiente, del aumento, en número y en complejidad, de los pasos que da el sujeto, entonces será cuestión de saber hasta qué punto se puede disociar el objeto de la objetividad propiamente dicha. Para el realismo, la objetividad es una actitud del sujeto que se dispone a alcanzar el objeto. Para el idealismo el objeto está constituido por la objetividad misma que

se convierte entonces en objetivación o creación del objeto. Desde el punto de vista de una epistemología genética, en cambio, que no admite un sujeto en sí, sino sólo las etapas de formación del sujeto, ni tampoco objeto en sí, sino solamente los objetos sucesivos reconocidos por el sujeto en el transcurso de dichas etapas, existe evidentemente una relación entre la objetividad y los objetos, pero la cuestión está en determinar esa relación por el desarrollo en sí. A ese respecto la historia de las concepciones cosmológicas es apta, más que ninguna otra, para precisar semejante relación, pues esas concepciones consisten esencialmente en la investigación del absoluto: podría ocurrir, empero, que los tipos de objetos reconocidos como tales, en cada nivel mental y para cada sistema nuevo del mundo, fueran solidarios con las coordinaciones que aseguran la objetividad, aproximándose cada vez más a ese límite constituido por el objeto en sí. No sabríamos naturalmente afirmar por adelantado si ese límite existe o no, ni mucho menos determinar en qué consiste: aunque si estudiamos la serie de los tipos de objetos que se suceden persiguiendo tal estado límite y si nos limitamos a conocer los términos de la serie ya realizados, podemos tener la esperanza de que se llegue, tarde o temprano, a reconocer si esa serie es divergente o convergente y en el caso de que converja hacia un límite, a discernir la orientación de éste. Mientras tanto y sin especular sobre los términos que vendrán y cuya estructura no se podría anticipar, la cuestión reside en buscar de establecer la ley de transformación que gobierne la serie, pues solamente la posesión de tal ley permite hablar de una serie.

El método que debe seguirse consiste, entonces, en distinguir, en cada una de las etapas de la evolución de las nociones mecánicas y de los sistemas del mundo, lo que constituye el absoluto alcanzado en el transcurso de dicho período, y lo que es relativo. En cada concepción del universo existe, en efecto, un absoluto y todos sabemos que la teoría de la relatividad ha llegado, más que ninguna otra, a poner en evidencia el carácter absoluto de algunas leyes de la naturaleza, al margen de todo sistema de referencia.

En esa situación, lo relativo revelará el papel de las operaciones que el sujeto está obligado a usar, observando lo real de los puntos de vista particulares, vinculados con su condición de observador, para poner de manifiesto los rasgos del objeto. En cuanto a los absolutos sucesivos, su misma sucesión y la destrucción correlativa de los absolutos precedentes nos informarán acerca de los rasgos propios del objeto del conocimiento y acerca de su independencia o su solidaridad con respecto a las operaciones del sujeto.

De esta manera en el desarrollo de los §§ 2 a 5 del presente capítulo, el estudio de la génesis misma de los conceptos de tiempo, de movimiento, de velocidad y de fuerza nos ha mostrado ya cómo los falsos absolutos egocéntricos del tiempo propio, de la finalidad de los movimientos y de la fuerza viviente ligada al esfuerzo muscular han debido ser reemplazados por absolutos espacio-temporales descentrados con respecto al yo, pero accesibles a través de las operaciones del sujeto. En este caso, son el establecimiento de las relaciones activas y, por ende, el descubrimiento de la relatividad de los puntos de vista ligados a la actividad propia, los que han

permitido la objetivación del objeto. La cuestión consiste, entonces, en saber si se trata de un accidente especial de la génesis de los conceptos o de un proceso que se vuelve a encontrar en la fabricación de todas las cosmologías.

7. Del universo de los "primitivos" al sistema del mundo de Aristóteles. Aunque la génesis de los conceptos deba buscarse en la acción, en el curso del desarrollo mental individual, cabe suponer que en el campo colectivo, que es el de la historia de los sistemas del mundo y del pensamiento científico, existe una relación estrecha entre la evolución del pensamiento y el de las técnicas. Con esto no queremos decir naturalmente que el progreso de las ciencias se explica por las necesidades de sus aplicaciones; y a menudo ocurre que la ciencia hace sus conquistas desinteresándose de todo fin utilitario. Este es el caso, en particular, de la matemática, que los griegos han liberado celosamente de las preocupaciones empíricas (cálculo concreto, agrimensura, etc.) en las que se habían inspirado los descubrimientos de los egipcios. Es cierto que por estar ligadas a las coordinaciones generales de la acción y no a las acciones especializadas, las estructuras lógico-matemáticas son seguramente más independientes de las técnicas que las ideas fisicoquímicas, aunque esas coordinaciones se afinan a menudo a raíz de las conquistas físicas. Pero la relación entre los sistemas del mundo y las técnicas, por más simple que sea, no por ello se impone menos, en el sentido de que los primeros constituyen la filosofía de las técnicas (en sus lagunas y limitaciones como en su extensión) adquiridas por la sociedad correspondiente, ya se trate de técnicas utilitarias o, posteriormente, de técnicas propias a las investigaciones físicas mismas.

Aun la "mentalidad primitiva" debe ser encarada bajo ese ángulo, como si constituyera precisamente el sistema del mundo propio de las sociedades cuyas técnicas naturales permanecen rudimentarias y cuyas subrogaciones mágicas y sobrenaturales desempeñan un papel tanto más importante. Es interesante comprobar, en ese sentido, cómo ha llegado a reaccionar Ch. Blondel, uno de los principales partidarios de L. Lévy-Bruhl, contra la insuficiencia de la investigación al respecto, fundando finalmente su psicología y su sociología de la inteligencia sobre el papel que desempeñan las técnicas.[28]

Pero no todos admiten ese punto de vista y Essertier ha escrito todo un libro[29] (que se apoya por otra parte sobre enfoques especulativos más que sobre una encuesta inductiva sistemática) para mostrar que el hombre ha sido durante largo tiempo "un mecánico que ignoraba la mecánica", y que la reflexión científica es independiente por lo tanto de las acciones efectivas. Si la fórmula es acertada, llega a demostrar precisamente que los actos preceden al pensamiento y se limita a plantear el problema de las relaciones entre ellos. Para resolver ese problema, habría que liberar, por una parte, las conexiones psicológicas exactas entre los esquemas sensoriomotores, los esquemas intuitivos, las operaciones concretas y las operaciones formales y, por la otra, las conexiones sociológicas entre las técnicas y las

[28] Ch. Blondel: "Intelligence et techniques". *Journ. de Psychol.*, 1938.
[29] D. Essertier: *Les formes inférieures de l'explication*. Alcan, 1927.

mentalidades colectivas. Lamentablemente aunque el primero de esos estudios sea relativamente fácil, el segundo no está hecho y permanecerá sin duda siempre incompleto, por no poder reconstituir con precisión la historia del pensamiento correlativo con la sucesión de los descubrimientos técnicos del hombre fósil.

En cuanto a la "mentalidad primitiva" actual, única base de partida de la cual disponemos, ofrece el gran interés de proveer un ejemplo de un sistema del mundo que corresponde a técnicas insuficientes: su carácter prelógico, estudiado muy bien por L. Lévy-Bruhl, se debe, sin duda, a esas insuficiencias o a las causas mismas que las explican. Es de señalar primero que, por más "consagradas" que estén por un ritualismo místico y por más acompañadas de magia que sean las técnicas de los "primitivos", no dejan de constituir por ello, en tanto son acciones, un sistema de actos adaptados: sus cabañas resisten a la intemperie, sus canoas, al agua y sus flechas alcanzan su presa. Sería pues de una importancia evidente conocer en el detalle la inteligencia práctica y las diversas técnicas en uso en una sociedad "primitiva" para poder situar de un modo fecundo la inteligencia reflexiva o verbal y las representaciones colectivas que atañen al universo correspondiente. Desde ese punto de vista el problema del pensamiento prelógico es común al primitivo y al niño.

Por cierto, existen grandes diferencias entre la mentalidad primitiva y la del niño. Las principales consisten en que la primera es colectiva mientras que la segunda sólo está en vías de socializarse; el primitivo es un adulto que trabaja para vivir, mientras que el niño actúa en función de intereses momentáneos; el primitivo vive en la inquietud que le causan las potencias malhechoras, en tanto que el niño confía en las que lo rodean; etc. No obstante, las relaciones entre el pensamiento y la acción son en parte comparables en ambos casos. A pesar de una elaboración sensoriomotriz de las conductas, ya apreciable, pero no consciente de sus mecanismos, el pensamiento simbólico, una vez constituido en el niño, sobrepasa enseguida la zona de las verdades controlables por las acciones: en la medida en que éstas permanecen cortas e insuficientemente coordinadas, el pensamiento en sus comienzos se evade, en efecto, en el juego, el mito y el dominio de las explicaciones verbales y oscila entre el egocentrismo y la invocación de la omnipotencia adulta. En el primitivo, asimismo, la insuficiencia de las técnicas materiales y el carácter no reflexivo de las coordinaciones nacientes de éstas es compensada por una abundancia de técnicas sobrenaturales (acciones ejercidas por el gesto, la imagen y la palabra) y deja un margen ampliamente abierto a la imaginación mitológica y prelógica. En lo que se refiere, en particular, a las operaciones lógico-aritméticas, no se podría negar la semejanza entre las participaciones prelógicas y las cantidades intuitivas adheridas a las colecciones mismas que se encuentran en el primitivo, y las estructuras preconceptuales o prenuméricas en el niño de dos a seis o siete años. Desde el punto de vista del tiempo, la misma ausencia de un tiempo común y homogéneo se observa en ambos casos. El finalismo animista del movimiento constituye igualmente

un rasgo de parentesco (el jefe indio, citado por Mach según Powell[30] que atribuye el vértigo a una piedra que no se logra lanzar al otro lado de una garganta, da una explicación típicamente infantil), etcétera.

Ahora bien, desde el punto de vista del sistema del mundo y de las relaciones, que son las únicos que nos interesan aquí, entre lo relativo y lo absoluto, o entre el sujeto y el objeto, el carácter más notable del universo de los primitivos es que nada en él es concebido con referencia a la posición del observador o del sujeto (salvo naturalmente en lo que atañe a la percepción de la perspectiva por ejemplo, o de los efectos de profundidad, etc., por oposición a los conceptos correspondientes). Los sueños mismos no son concebidos con referencia al sujeto y forman parte de la realidad física; los nombres igualmente, etc. Los astros (y esto es esencial para la comparación con los niveles ulteriores) son considerados como objetos pequeños situados a la altura de las nubes y cuyo movimiento ni es autónomo, ni de una regularidad asegurada. Así como el niño se considera durante largo tiempo seguido, en sus idas y venidas, por la luna, cuyos movimientos gobierna de ese modo, así también los antiguos chinos consideraban todavía que el Hijo del Cielo regulaba la marcha de los astros y de las estaciones recorriendo su reino (o dicho en forma más simple, su palacio). Resumiendo, no hay distinción esencial entre la apariencia y la realidad, entre el indicio o el signo y las cosas significadas: todo es realidad directamente aprehendida, hasta el mundo oculto que se revela sin cesar por manifestaciones visibles, y el absoluto se confunde con esa realidad entera sin ninguna especie de relatividad intelectual.

Comparado, empero, con lo que los niveles ulteriores nos han comunicado sobre lo real, ese absoluto global de partida presenta dos características sumamente instructivas por su propio nexo: es simultáneamente e indisociablemente egocéntrico y fenoménico.

Es egocéntrico pero en una forma que no es la del pensamiento del niño, puesto que éste se halla sólo en vías de socialización y queda centrado sobre el individuo y sobre las relaciones con su prójimo (de donde se origina el artificialismo condicionado por el poder del adulto, etc.). El egocentrismo intelectual del primitivo es, entonces, un sociocentrismo o "sociomorfismo" como lo ha dicho acertadamente Durkheim. Pero si la sociedad consta de pequeñas tribus confinadas en pequeños territorios, la diferencia de escala entre el egocentrismo infantil y el sociomorfismo del primitivo es desdeñable desde el punto de vista de la formación de las ideas físicas y de los sistemas del mundo: en el sociomorfismo como en el egocentrismo, el hecho esencial consiste en que el universo tiene un centro y en que ese centro absoluto es el pequeño conjunto interindividual al que pertenece el sujeto. Luego el espacio tiene un centro que es el territorio de la aldea. El tiempo es gobernado por el calendario social y las secuencias temporales están subordinadas a los vínculos mágicos y místicos que desprecian el orden y la duración operatorios en favor de algunas intuiciones elemen-

[30] Véase Mach: *La connaissance de l'erreur*. Trad. Dufour. Flammarion, págs. 125-126.

tales de sucesión y de velocidad. La fuerza es el "maná" del clan. La causalidad es la expresión de las voluntades que gobiernan el grupo social. Como lo ha observado I. Meyerson,[31] la asimilación del mundo físico al mundo social desemboca en el concepto de un equilibrio inestable cuya conservación está ligada al de los usos, y éstos adquieren por este mismo hecho un aspectò racional ("observamos nuestras viejas costumbres a fin de que se mantenga el Universo" había dicho a Rasmussen un viejo esquimal) ; no deja de ser menos cierto que esa necesidad de conservación, afectiva más que intelectual por lo demás, es derivada con respecto a una actitud egocéntrica.

Pero, por ser al mismo tiempo ego o sociocéntrico, o más exactamente, porque es egocéntrico, el universo absoluto del primitivo es fenoménico, es decir, que la superficie de lo real no se distingue de una realidad física que sería deducida bajo las apariencias. Así es como los fenómenos están ligados entre sí de acuerdo con sus simples secuencias empíricas: el retrato de la reina Victoria puede desencadenar una epidemia, asi como las sombras chinescas proyectadas en la lona de la carpa por un viajero llegan a producir al día siguiente una pesca muy fructífera. Pero, ¿por qué la apariencia y la realidad no están diferenciadas? Es porque semejante disociación presupone una continua descentración del pensamiento, es decir, una separación posible de lo objetivo y de lo subjetivo, y esa descentración es precisamente la inversa del egocentrismo intelectual que la tiene en jaque. En su interesante examen crítico de las tesis de L. Lévy-Bruhl, I. Meyerson atribuye esos vínculos fenoménicos a "falsos razonamientos"; no cabe duda de que es así, pero no podría haber un razonamiento correcto sin la descentración necesaria para que se establezcan relaciones objetivas.

No cabe aquí buscar las razones, esencialmente sociales, que hayan podido provocar la declinación de la mentalidad "primitiva" y su pasaje a la mentalidad característica del nivel de las operaciones concretas. Se han invocado en particular dos factores y existe cierto interés epistemológico en subrayar su estrecha interdependencia y su acción convergente en cuanto a la descentración del pensamiento. El primero es la mezcla de las unidades sociales iniciales que forman totalidades más vastas y más densas, de donde resulta a la vez una división del trabajo económico y una diferenciación psicológica de los individuos. El otro es el progreso mismo de las técnicas, vinculado con esa división del trabajo y con esa diferenciación mental.

Ese avance llega tarde o temprano a una internalización de las acciones en operaciones concretas y, por consiguiente, a la constitución de una lógica práctica (comparable a la de los niños civilizados entre siete y once años). Se trata entonces, desde luego, sólo de operaciones concretas y no formales, es decir, que conducen a una ciencia empírica y no teórica. Sólo esas operaciones concretas bastan para modificar en algunos puntos esenciales el sistema del mundo.

31 I Meyerson: *Année Psychol.*, t. XXIII, 1922, pág. 214.

Tomemos el ejemplo de los caldeos. Impregnados aún de mitología primitiva en su representación del universo, y refiriendo en particular sus cbservaciones en el cielo estrellado a toda una astrología sociomórfica, no han dejado de arribar pese a ello, por la técnica propia de un pueblo de pastores, adoradores de los astros, a medidas del tiempo y a determinaciones de movimientos celestes que marcan, ambas, un avance esencial en la distinción de lo absoluto y de lo relativo y, por consiguiente, en la descentración del mundo con respecto al sujeto. Perfeccionando el gnomon simple hasta conseguir el "polos" hemisférico dividido en partes iguales,[32] han llegado a determinar la hora en función de la trayectoria del sol, midiendo la dirección y la longitud de las sombras. Que el "polos" haya sido inventado, como lo quiere Sageret, por razones místicas inspiradas en el culto de Samas, el sol, o por razones prácticas, no por eso deja de constituir un instrumento, y aun "de primordial importancia, el antepasado de todo el equipamiento astronómico".[33] El uso de esa técnica, aun sin conducir a la constitución de una geometría ni de una astronomía teóricas (a pesar del conocimiento caldeo de los eclipses, etc.) ha desembocado sin embargo en un descubrimiento fundamental en la historia de los sistemas del mundo: los astros tienen una trayectoria independiente o autónoma, de la cual depende el grupo social (materialmente y, sin duda durante mucho tiempo aún, místicamente); pero esa trayectoria ya no está más regulada por las fiestas de las estaciones ni por las marchas y contramarchas de los humanos vivos o difuntos.

Bastará un solo hecho para ilustrar la diferencia de los puntos de vista: mientras que los primeros astrónomos caldeos trataban de determinar trayectorias objetivas, la creencia popular atribuía siempre a las estrellas el poder de acompañar a los hombres, como lo atestigua la leyenda bíblica de los tres reyes magos guiados por la luminaria celeste. Comprobamos así que, en lugar de una mentalidad aún profundamente sociomórfica, y a pesar de todas las supervivencias "primitivas", la elaboración de operaciones concretas referentes al movimiento, a la velocidad y al tiempo se traduce por un principio de descentración que afecta al conjunto del universo, y por ende, por una disminución simultánea de egocentrismo y de fenomenismo.

Sin embargo y aunque tal principio de descentración o de objetividad marca, en efecto, una primera disociación entre lo absoluto y lo relativo (en el caso particular, entre la trayectoria real de ciertos astros y los movimientos aparentes relacionados con la observación directa de los observadores en marcha), ese absoluto permanece, y en buena parte, centrado sobre el sujeto: la tierra todavía es concebida como plana (cierto es que ya es hemisférica entre los caldeos); es limitada (el tratado matemático chino Tscheou-Peï hasta calcula su extensión basándose sobre un principio gnomónico);[34] flota sobre un líquido o permanece sin soporte, etc.: pero

[32] Véase su descripción en J. Sageret: *Le système du monde des chaldéens a Newton*. Alcan, 2ª ed., pág. 106.
[33] *Ibíd.*, pág. 111.
[34] Sageret, *loc. cit.*, págs. 55-56.

en todos los casos constituye el centro del mundo y simplemente está coronada por una costra sólida formada por el firmamento. Las líneas verticales, en particular, son absolutas, por ser todas perpendiculares al suelo horizontal.

Sólo con el origen de las operaciones formales, entre los griegos, la distinción entre lo absoluto y lo relativo adquiere un valor de principio reflexivo. Los presocráticos ya oponían la verdad a la opinión y a las apariencias ilusorias y buscaban una explicación de la naturaleza por sí misma, reaccionando contra la imaginación mitológica de las causas. Liberándose a la vez del egocentrismo y del fenomenismo de las explicaciones corrientes, Empédocles descubre que el aire es una sustancia y que la sombra o la noche no lo son, contrariamente a las apariencias y a las interpretaciones animistas y finalistas inherentes al sentido común de aquel entonces.

Desde el punto de vista del sistema del mundo esta inversión de sentido con respecto al egocentrismo y al fenomenismo espontáneos da origen de inmediato a un conjunto de concepciones, muy diversas y a menudo incompatibles entre sí, pero cuyo rasgo común es la descentración decisiva que acarrean con respecto a la cosmología del nivel de las operaciones concretas. Así la esfericidad de la tierra es admitida, quizá desde Pitágoras (cuando los babilonios sólo habían llegado a la semiesfericidad), de donde resultó el no paralelismo de las verticales. Los astros están provistos de dimensiones que contradicen su apariencia sensible, y sus movimientos son interpretados en función de modelos geométricos que exceden ampliamente la comprobación empírica. Esas conquistas orientadas hacia la extensión de las escalas superiores hallan su simetría en la escala de lo invisible, en las teorías del atomismo del vacío y de la atracción de los elementos, con un comienzo de descentración que tiene en cuenta las ideas de "arriba" y "abajo". Finalmente, las operaciones formales, surgidas de una articulación constructiva y reflexiva a la vez de las operaciones concretas, hacen tambalear también el marco y la realidad sensible en favor de una descentración en todas las escalas y de una elaboración de coordinaciones nuevas.

A pesar de esa abundancia de ideas audaces, entre las cuales las más próximas de la ciencia moderna han sido a menudo utilizadas en un sentido negativo y no constructivo,[35] el sistema de Aristóteles marca un retorno sistemático al sentido común, como reacción contra la física de los presocráticos (el atomismo en especial), como asimismo contra el matematismo platónico. Sin embargo, precisamente a causa de su posición de "justo medio", el sistema peripatético del mundo suministra una imagen

[35] Compárese (además de los argumentos de Zenón que rozan el cálculo infinitesimal) la relatividad del movimiento en Sexto Empírico: dos movimientos en sentido contrario pueden culminar en una inmovilidad real: por ejemplo, un hombre, caminando sobre la cubierta de un barco en dirección opuesta a la marcha de este último, puede estar inmóvil con respecto a la orilla.

preciosa de lo que ha podido seguir siendo, para la física griega, el absoluto de la realidad a pesar del relativismo naciente.

Desde el punto de vista en que nos colocamos aquí, el hecho dominante de la cosmología de los griegos, comparada con la de Copérnico y de Galileo, es que el universo tiene un centro. Según una de las concepciones más osadas de la que Aristóteles se aparta, la de Philolaos, el centro no es la tierra, sino el fuego central alrededor del cual giran en círculo la antitierra, la tierra, la luna, el sol y los cinco planetas (esos diez cuerpos a su vez están rodeados por la esfera de los fijos y el fuego exterior). Pero Aristóteles objeta que la tierra, por ser pesada, debe ocupar el centro de todo. Es esférica porque su superficie es en todas partes perpendicular a los radios del mundo, es decir a las líneas de fuerza según las cuales los cuerpos pesados son atraídos hacia el centro, y es fija porque al ocupar el centro, la tierra constituye así el núcleo del universo. La vertical está referida por lo tanto al centro de la tierra, pero siempre hay un "arriba" y un "abajo" absolutos, puesto que están determinados por el hecho de que el centro de la tierra se confunde con el del mundo. De donde se deduce la consecuencia principal de que el espacio no es homogéneo ni isótropo, que no admite similitudes y que es finito. De aquí resulta un dualismo de principio muy característico del pensamiento antiguo: éste opone, en efecto, al espacio geométrico de Euclides, que es homogéneo, isótropo, insensible a la escala de magnitud de las figuras, e infinito, un espacio físico contrario a esas propiedades.[36] Pero es sobre todo el espacio físico de Aristóteles el que actúa sobre los cuerpos en virtud precisamente del hecho de ser centrado: asigna a todos los objetos materiales un "lugar propio", como cualidad inherente de su naturaleza o como condición de la realización de ésta: de ahí resulta el movimiento de los graves hacia abajo y de los cuerpos ligeros hacia arriba, movimientos "naturales" puesto que son condicionados por una tendencia inmanente a cada cuerpo y que forma parte de sus atributos esenciales.

Se deduce una serie de consecuencias fundamentales en cuanto a la interpretación del mundo físico y de la mecánica. Al principio, por no ser homogéneo este mundo, implica una jerarquía de los seres, según su grado de perfección, es decir una diferencia esencial de comportamiento según su posición en el espacio. De modo que en el mundo celeste donde los cuerpos ya no tienen peso por estar formados por el éter divino, su movimiento es circular porque es conforme a la trayectoria más perfecta y de velocidad constante.[37] En cambio, en el mundo sublunar, los cuerpos se separan según que tiendan hacia arriba o hacia abajo. En segundo lugar, los movimientos circulares o rectilíneos son los únicos "naturales" en tanto son originados por la tendencia de cada cuerpo a realizar su naturaleza; pero entonces existe toda una categoría de movimientos "contra natura"

[36] Véase R. Wavre: "A propos de Copernic". *Rev. de théol. et de philos.* Lausana, 1944.

[37] Esta constancia de la velocidad, sin relación con el principio de inercia es, sin duda, uno de los muy pocos casos en que un concepto de conservación depende directamente de la identidad meyersoniana y no de una construcción operatoria.

o "violentos" por ser impuestos al móvil y sin que resulten enteramente de su tendencia interna (tal es en particular el movimiento de los proyectiles mencionado en el § 4).

La finalidad y la idea de fuerza sustancial están pues implicadas en un alto grado en el conjunto del sistema. No carece de interés en ese modo de pensar, formal a la vez, pero en reacción contra la formalización matemática, y en retroceso hacia las operaciones concretas, que converja, en la escala de un sistema integral del mundo con lo que nos muestra la psicogénesis de los conceptos en el nivel situado a mitad de camino entre las operaciones concretas y las operaciones formales: que el finalismo y el biomorfismo están ligados necesariamente a la hipótesis de una centración del universo, que emana a su vez de una centración sobre la actividad humana misma, es decir, de ese egocentrismo intelectual inherente al pensamiento espontáneo (como el del niño o del sentido común). Los móviles son concebidos así por Aristóteles como clases de seres vivientes, menos la conciencia: tendiendo hacia metas asignadas por su naturaleza, tienen por consiguiente la capacidad interna de alcanzarlas; por cierto los cuerpos inanimados no tienen, como los vivos, el poder de desplazarse por sí mismos, pero poseen el movimiento en potencia, en tanto éste tiende a realizar la forma de aquéllos, y es esta tendencia la que constituye su fuerza interna y sustancial.

Carteron ha mostrado de un modo descollante [38] cómo esa noción de la fuerza se opone a que se hable de una mecánica de Aristóteles, a pesar de P. Duhem. En la teoría de los dos motores, en particular, la fuerza exterior actúa sobre la fuerza interna como una especie de proceso químico en el cual la reacción es desencadenada por el contacto, sin ser directamente su resultado. Diríamos más bien, un proceso biológico, a pesar de la distinción de Aristóteles entre lo animado y lo inanimado: la fuerza externa no se combina, para hablar con rigor, con la fuerza interna, sino que desencadena simplemente la activación, según una especie de relación "estímulo × respuesta"; y esto ocurre en función de la naturaleza propia de esa fuerza interior, comparable con un instinto elemental o con un "tropismo".

Quedan el azar y el accidente, irreducibles a la teleología y a los cuales Aristóteles rehúsa asignar, como a los movimientos "violentos", la función esencial en la economía de la naturaleza que la física moderna se ha visto obligada a atribuirles. La naturaleza obra como el arte, y un texto asaz instructivo, citado por L. Brunschvicg, nos muestra cómo, así como el gramático puede cometer errores y el médico equivocarse de poción, la naturaleza también es susceptible de errores y de producciones fortuitos.[39]

De modo, pues, que dos aspectos fundamentales parecen caracterizar la física de Aristóteles. En primer lugar la ausencia de composición operacional de los movimientos, de las velocidades o de las fuerzas, a pesar de

[38] H. Carteron: *La notion de force dans le système d'Aristote*. Vrin.
[39] L. Brunschvicg: *L'expérience humaine et la causalité physique*, pág. 150.

sus conocimientos geométricos: es la cualidad y no la cantidad lo que es esencial para esas realidades mecánicas y una cualidad que da origen a simples descripciones sin una composición efectiva. Así Carteron insiste, y con razón, sobre el hecho de que cuando Aristóteles pasa de los principios a las explicaciones de detalle, se contenta en general con describir las relaciones empíricas en lugar de deducirlas: lo que manifiesta un fenomenismo muy resistente, que mantiene en jaque la construcción operatoria. En segundo lugar el universo está centrado y los seres están jerarquizados en función de esa centración. La naturaleza y los cuerpos físicos en su diversidad permanecen a mitad de camino entre lo que nosotros concebimos como mecánico o inanimado y lo que concebimos como viviente: de aquí se infiere el finalismo de los movimientos, el biomorfismo de las fuerzas y las relaciones también eminentemente biomórficas entre la forma y la materia, entre los cuatro tipos de causalidad y entre la potencia y el acto.

Resulta evidente que los diversos aspectos de la física aristotélica forman psicológicamente un todo. El biocentrismo de Aristóteles es al mismo tiempo la clave de su sistema del mundo y la culminación última de ese egocentrismo preoperatorio que, en las etapas sucesivas, cada una de las cuales está mejor descentrada con respecto a las precedentes, reaparece sin cesar bajo formas cada vez más refinadas como la causa esencial de las dificultades en disociar lo relativo y lo absoluto. Asimismo, al estar cada ser, en el sistema, centrado sobre sí mismo por analogía con el organismo viviente, y como todo lo que en nuestra mecánica constituiría la puesta en relación de los cuerpos está concebido ya sea como finalidad interna, ya sea como movimiento contra natura, el absoluto formado por el conjunto del mundo real está también centrado según un principio jerárquico que se traduce en un simple fenomenismo en el detalle de las explicaciones.

Así, pues, etapa por etapa, y a pesar de las conquistas lentas y graduales de la descentración relativista que ha conducido la física casi al umbral de la composición racional, el egocentrismo intelectual y su correlativo, el fenomenismo, reaparecen bajo formas cada vez más amplias que, sin embargo, no dejan de obedecer a las mismas leyes constantes, comunes a la psicogénesis de los conceptos y a su evolución histórica.

8. La mecánica clásica y la descentración del universo; la evolución de las formas científicas del concepto de fuerza y el problema de lo virtual. Al quitarle a la tierra su carácter privilegiado de centro del mundo y al mostrar que las direcciones de las estrellas no varían durante los desplazamientos de nuestro planeta alrededor del sol, Copérnico situó la mente ante una obligación completamente nueva, la de distinguir los movimientos aparentes de los movimientos reales: de allí surgió la necesidad de una composición objetiva de los movimientos y de las velocidades. El hecho de que el sol sea concebido como si no girara alrededor del globo terrestre, a pesar de la experiencia inmediata, y de que su movimiento aparente sea atribuido al desplazamiento del objeto sobre el cual estamos colocados como observadores, constituye una tercera etapa de los razonamientos cinemáticos, comparable a aquella al principio

de la cual el hombre había descubierto que los astros no lo seguían, sino que poseían trayectorias independientes de él: la objetividad queda así subordinada a una descentración sistemática de la inteligencia prolongando todas las experiencias que, desde la percepción hasta las operaciones concretas, han marcado ya los avances del conocimiento. Pero hay más aún. ¿Por qué no se siente el movimiento de la tierra? ¿Por qué un proyectil lanzado desde un punto A en la dirección de uno de los movimientos de la tierra no cae muy atrás, si antes de reunirse con la tierra, ésta se ha desplazado por sí misma a una velocidad considerable? La disociación del movimiento y del espacio iniciada de ese modo, ha culminado en la relatividad de ese movimiento, sistematizada por Galileo y Descartes: el movimiento rectilíneo y uniforme se conserva por sí mismo, sin la intervención de una fuerza, y los movimientos interiores de un sistema no permiten decidir si éste es arrastrado o está en reposo. El espacio se vuelve pues indiferente al movimiento y, tanto por esta razón como por la desaparición correlativa de todo "centro" del universo, vuelve a encontrar la homogeneidad, la isotropía, la infinidad y la similitud entre escalas diferentes, es decir, las propiedades del espacio geométrico. La mecánica concilia o reconcilia de esa manera el universo con el espacio euclidiano:[40] eso significa, empero, que el pasaje de la subjetividad a la objetividad, que procede del egocentrismo a la descentración de acuerdo con lo que se ha visto anteriormente, consiste asimismo en una subordinación creciente de las acciones físicas a las coordinaciones lógico-matemáticas en tanto éstas son productos de esa misma descentración.

¿Cuál es la significación de esa relatividad del movimiento, si se tienen en cuenta las interacciones entre el sujeto y el objeto? En el sistema de Aristóteles, el observador ocupa una posición absoluta en el espacio y los movimientos que constata son igualmente reales porque los sitios de partida y de llegada son también posiciones absolutas del mismo espacio. Según la relatividad galileana, en cambio, ya no existe movimiento con relación al espacio, sino solamente con respecto a sistemas de referencia constituidos por objetos fijos los unos respecto de los otros (pero no con respecto al exterior del sistema): luego el sujeto no posee más posición absoluta, sino sólo una posición referida a esos mismos objetos. El movimiento cuya existencia se ve obligado a admitir ya no es más el resultado de una simple comprobación, sino el producto de una composición operatoria: así, por ejemplo, el desplazamiento del sol registrado por un observador desde su posición sobre la tierra es sólo un dato a partir del cual se trata de construir la representación del movimiento de la tierra invirtiendo las relaciones aparentes; en cuanto a los movimientos de las estrellas o a los del sol con respecto a las estrellas fijas, etc., su conocimiento exige una composición deductiva que se aleja mucho más aún de la comprobación empírica. Esas trivialidades entrañan una lección cuyo alcance no ha sido agotado a pesar de los tres largos siglos que han transcurrido desde que han dejado de ser paradojas: y es que la coordinación

[40] Véase R. Wavre, *loc. cit.*

de las relaciones objetivas y la descentración del objeto con relación al sujeto constituyen un mismo y único acto de la mente.

Desde la relatividad galileana, en efecto, las acciones mediante las cuales el observador compone operatoriamente los movimientos que están en juego constituyen una parte integrante del fenómeno que se observa. Ya en el sistema de Aristóteles el observador está en el espacio y forma parte integrante del sistema de posiciones entre las que establece relaciones para determinar un movimiento: pero el espacio es fijo y la deducción de las posiciones corresponde a una comprobación empírica posible. Cierto es que las comprobaciones mismas necesitan de una interpretación y que la esfericidad de la tierra en particular ha implicado un esfuerzo considerable de descentración con respecto a la percepción inmediata, aun en el caso de las observaciones efectuadas en el mar. No por eso deja de ser cierto que el observador permanece, en un sentido, exterior a los fenómenos observados, puesto que, suponiéndoselo fijo, él relaciona simplemente desde afuera las otras posiciones del espacio con la suya: por esta razón su esfuerzo coordinador sólo presupone un débil grado de descentración. En la cinemática galileana, por el contrario, las acciones del observador (es decir, el conjunto de las comprobaciones ligadas a su actividad sensorio-motriz, a su intuición en imágenes y a las operaciones concretas o formales que lo vinculan a los objetos, sin contar los instrumentos de medida empleados para reforzar esas acciones) son partes integrantes del fenómeno total, puesto que el observador mismo está sin cesar en movimiento. Decir que sólo su cuerpo se desplaza entre los movimientos del sistema, mientras que su mente permanece como espectadora y exterior al fenómeno, sería inoperante puesto que el sujeto logra dominar el tiempo y el espacio sólo en virtud de las composiciones operatorias reversibles, o sea por medio de una serie compleja de acciones internalizadas que coordinan las observaciones y reconstituyen su marcha empírica. El observador, por consiguiente, se encuentra en el curso mismo de la deducción operatoria, arrastrado en el desplazamiento general cuyo sistema debe reconstituir: tal es el hecho nuevo y capital, implicado en la relatividad del movimiento.

Desde ese punto de vista, resulta exacto pues decir, como lo sostuviéramos en el parágrafo 6, que lo relativo, en un sistema del mundo, es la medida de las operaciones a las que se ajusta el sujeto cognoscente. En la concepción de Aristóteles, esa relatividad consiste en corregir algunas intuiciones (esfericidad de la tierra, etc.), pero en el conjunto, su física sigue siendo una mera traducción fenoménica de la apariencia sensible y, por ende, del carácter egocéntrico y absoluto que toma como referencia. En la descentración galileana y copernicana, una parte esencial de ese falso absoluto bio y geocéntrico es transformada pues en relativo, por la relatividad del movimiento, y esa relatividad se convierte para el sujeto en necesidad de nuevas coordinaciones operatorias. Resumiendo, la relatividad es la medida de la descentración y ésta no es sino el revés (o el aspecto interior, es decir, referido al sujeto) de la coordinación operatoria.

Pero el precio que se paga así por la composición deductiva es com-

pensado por la determinación de nuevos absolutos más resistentes que los absolutos biocéntricos de Aristóteles. En primer lugar, la relatividad misma del movimiento y la composición operatoria que aquélla presupone originan la constitución de un invariante: el principio de la conservación del movimiento rectilíneo o uniforme (inercia) no afirma la identidad de una cosa, como volveremos a ver en el capítulo V, pero constituye un invariante de grupo, es decir la afirmación de una coherencia necesaria en el seno de las transformaciones relativas. En segundo lugar, si los movimientos son relativos, su suma, que no es aritmética como lo afirmara por error Descartes en su principio de la conservación de la cantidad total de los movimientos, sino geométrica (los movimientos son vecciones afectadas por un signo), permanece igualmente constante, lo que constituye esta vez un absoluto superior a las transformaciones, pero que resulta de su composición misma.

En tercer lugar, y por sobre todo, si los movimientos son relativos, permiten descubrir en las propias velocidades un absoluto constituido por la aceleración. En efecto, una aceleración puede ser medida en cualquier sistema en movimiento (inercial u otro) o en reposo, puesto que el observador situado sobre un objeto en movimiento acelerado puede determinar su propia aceleración. Galileo descubre así la aceleración constante del movimiento de caída de un cuerpo. Sin duda, esa aceleración podría haber sido descubierta en el seno del absoluto aristoteliano, pero sólo en algunos casos particulares: la generalización que le da Newton, al definir la fuerza por el producto de la masa y de la aceleración, presupone la disociación de la fuerza y en especial de la gravitación con respecto al espacio y convierte a la vertical y a la horizontal en propiedades del espacio físico y ya no geométrico, lo que contradice la idea de una pesantez concebida como una tendencia de dirigirse hacia el centro del universo. El absoluto de la aceleración es, en verdad, una conquista de la relatividad del movimiento y no puede deducirse del absoluto de un universo centrado a la manera peripatética.

Ahora bien, el problema de la aceleración indujo a plantear nuevamente el del concepto de fuerza. Tocamos aquí una fase particularmente sugerente de la historia de ese concepto cuyas ambigüedades se originan, como lo vimos en el § 5, por el doble sentido, subjetivo y objetivo, de la experiencia del esfuerzo muscular. Reaccionando contra el egocentrismo intelectual que impulsaba ya a Aristóteles a concebir la fuerza como una especie de actividad vital sin conciencia, Descartes expulsa de la física las ideas de fuerza y de finalidad cuyo parentesco epistemológico bajo la doble forma antropomórfica que les había conservado el estagirita ha captado perfectamente. Unicamente la figura y el movimiento constituyen el universo, y los movimientos se conservan por sí mismos en su suma aritmética. Pero Leibniz recoge el "error memorable" de Descartes y sustituye su ecuación del universo por una "equivalencia de la causa y efecto" que culmina en la conservación de la fuerza mv^2 o más exactamente $\frac{1}{2}mv^2$: la aceleración de la caída de los cuerpos ofrece así una ocasión para volver a introducir el concepto de fuerza. El descubrimiento

de la gravitación universal por Newton llega igualmente a introducirla, y también en función de la aceleración, pero extendiendo considerablemente el campo de esta última. "Galileo, escribe L. Brunschvicg, había determinado el movimiento de los proyectiles componiendo, como elementos independientes, las determinaciones resultantes de la ley de la caída de los cuerpos con las determinaciones de la ley de inercia. Newton, para dar cuenta del movimiento de los astros trata asimismo de calcular dos componentes: un movimiento del mismo orden que la ley de inercia, el movimiento centrífugo, cuyas condiciones ya había estudiado Huyghens, y otro movimiento que representaba esa atracción cuya existencia ya habían sospechado Gilbert y Kepler y más de un científico después de ellos".[41] La fuerza se convierte así en una realidad: $f = mg$. La célebre fórmula de prudencia "todo ocurre como si" muestra claramente que Newton distinguía la realidad observable, es decir la masa y la aceleración, de la fuerza propiamente dicha concebida como causa de esta última. Pero permite que Roger Cotes imprima, en el prefacio de la segunda edición de los *Principios*, la aseveración sobre la existencia de una fuerza de atracción, causa de la ley observada. Lamentablemente esa atracción debía obrar instantáneamente, para lograr su efecto, con una velocidad infinita sobre todo el universo. La fuerza de la atracción se convertía así en el escándalo de la física moderna, hasta la teoría de la relatividad; el escándalo ya fue denunciado por los leibnizianos que acusaron a Newton de volver a las entidades escolásticas.

Por curiosa que sea desde el punto de vista epistemológico no se trata de reescribir la historia, tantas veces y tan bien contada, de los avatares del concepto de fuerza en el transcurso de los siglos XVIII y XIX. Todo el mundo se ha puesto de acuerdo sobre el contenido cinemático de ese concepto, es decir sobre el hecho de la aceleración. En cambio renacían sin fin las discusiones apenas se trataba de atribuir una causa a la aceleración, es decir, de dar a la noción de fuerza un contenido sustancial. A ese respecto nos conformaremos con examinar dos puntos: uno es la significación epistemológica de los conceptos de lo "potencial" y de lo "virtual" que intervienen en la composición de las fuerzas; el otro se refiere al papel de la experiencia interna en la determinación del concepto de fuerza.

El problema esencial que plantea esta historia es el de comprender por qué se mantiene y se resucita sin cesar una idea tan controvertida. ¿Es acaso en función de una necesidad causal, en el sentido de Aristóteles, que refiere el movimiento a la actividad de una sustancia, de una necesidad de explicación en el sentido de Meyerson, según el cual la fuerza sería la causa de la ley, o de una necesidad de composición operatoria? La respuesta no ofrece dudas: a pesar de la resistencia que oponen los físicos para invocar lo que podría parecerse, de cerca o de lejos, a entidades antropomórficas, la idea de fuerza se ha mantenido en la medida en que ha resultado indispensable a las composiciones operatorias. Existe, en

[41] L. Brunschvicg: *L'expérience humaine et la causalité physique*, pág. 229.

efecto, una composición de fuerzas, que no se reduce a la composición de velocidades, porque, si sólo se componen aceleraciones reales, como lo ha intentado Mach en lo referente al principio newtoniano de acción y de reacción, no se tienen en cuenta todos los datos de la gravitación (en sus relaciones con el peso, por ejemplo). La idea de fuerza se impone, pues, por su aspecto operatorio, es decir, en cuanto es susceptible de composición reversible: dos o varias fuerzas equivalen a una fuerza única bien determinada, su "resultante", y esas sustituciones no sólo son conmutativas, sino asociativas y reversibles, esto es, forman un "grupo" definido.

Además, esa composición de fuerzas implica principios de equivalencia, tales como los principios de simetría estática (simetría de fuerzas en equilibrio) y el célebre principio dinámico de la igualdad de la acción y la reacción, ya enunciado por Newton. Por otra parte, la forma inicial del principio de la conservación de la energía ha sido la conservación, establecida por Leibniz, de la "fuerza viva" mv^2, de donde Lazare Carnot ha extraído la idea de "fuerza viva latente", análoga a nuestra "fuerza potencial". El concepto tan importante de equilibrio de las fuerzas ha sido generalizado finalmente merced a consideraciones dinámicas, hasta dar origen a un principio que sirvió de base a Lagrange para su "mecánica analítica": el principio de los trabajos (o velocidades) virtuales. Se sabe que Lagrange ha construido una mecánica puramente analítica (sin figuras ni construcciones mecánicas empíricas) según el modelo de la geometría analítica de Descartes. Su principio fundamental es el siguiente: la condición necesaria y suficiente para que un sistema sometido a fuerzas cualesquiera esté en equilibrio es que los trabajos realizados por esas fuerzas, que siguen los desplazamientos virtuales conformes a los nexos del sistema, sean nulos.

Estos principios variados de composición nos enseñan dos cosas: que además de las velocidades o aceleraciones reales, el concepto de fuerza recurre a velocidades "virtuales" (es esto lo que constituye su aporte propio) y que las fuerzas concebidas así como aceleraciones reales y virtuales se dejan asimilar a los esquemas generales de coordinación lógico-matemática, del mismo modo que el tiempo, los movimientos y las velocidades: de aquí resulta que se mantengan en el terreno de la física positiva.

Pero entonces se plantea un primer problema epistemológico: si las composiciones operatorias de la fuerza apelan así a las nociones de "potencial" o de "virtual" ¿es esto un retorno disfrazado a la "potencia" que Aristóteles oponía al "acto", lo que aseguraría la continuidad del concepto de fuerza, de peripatetismo, a la física moderna? Por otra parte, tanto el concepto aristotélico de la "potencia", como los conceptos modernos de lo virtual o de lo potencial constituyen, si se los reduce los unos a los otros, formas de identificación: ¿hemos de decir entonces que la verdadera razón de la resistencia de la idea de fuerza en el curso de toda la historia de las ciencias deba buscarse en la identidad meyersoniana?

La gran diferencia, empero, entre la "potencia" de Aristóteles y los trabajos "virtuales" reside en la ausencia de toda composición operatoria que relacione la potencia con el acto y por consiguiente, de todo criterio

que regule de un modo objetivo la intervención de la primera. En efecto, la condición necesaria para que la idea de lo virtual adquiera una significación racional consiste en que sea invocada en el interior de un sistema operatorio cerrado, de modo que se pueda tener la certidumbre de que los movimientos virtuales pertenecen al conjunto de las transformaciones que implica el sistema. Los conceptos de lo virtual y de lo potencial son entonces relaciones de equivalencia operatoria cuyo criterio de validez es el de ser interiores a un conjunto de composiciones bien determinadas y de ser indispensables a la reversibilidad de ese sistema. Así resultó que cuando el físico R. Pictet "osó", como dice Couturat, asimilar la libertad del alma a un potencial del cerebro, su afirmación quedó en meras palabras, por carecer de un sistema de transformaciones que permitieran componer esas energías potenciales. Ahora bien, la "potencia" de Aristóteles consiste precisamente en imaginar un virtual sin composiciones determinadas: decir que B estaba contenido en potencia en A significaría que A y B son interiores a un mismo sistema cerrado, lo que no se puede saber justamente sin una composición operatoria definida. Todo el concepto aristoteliano de la fuerza descansa así sobre la hipótesis gratuita de que los cuerpos constituyen tales sistemas cerrados. Señalemos, además, que por más que los conceptos de los físicos modernos ya nada tienen que ver con la "potencia" peripatética, no podría decirse lo mismo de los biólogos: cuando un rasgo hereditario salta de un abuelo a su nieto se puede sostener por cierto que ha quedado "latente", es decir, virtual en el padre, pero cuando un rasgo nuevo aparece en una línea pura, en un medio determinado, y que el biólogo nos dice que el medio ha actualizado simplemente lo que estaba contenido virtualmente en la estructura genética de la línea, postula, sin poder componerlo, el carácter cerrado del sistema y hace aristotelismo.

En cuanto a la identidad meyersoniana, se puede afirmar, por cierto, que lo virtual y lo potencial son identificaciones como la "potencia", pero ésta sigue siendo verbal mientras que las primeras deben su valor a una composición operatoria precisa. Tocamos aquí la dificultad central de la interpretación por la identificación: esta última conduce tanto al error como a la verdad. En la historia de las ciencias hay sin duda más identificaciones falsas (desde la de Tales) que verdaderas. Meyerson lo admite puesto que extrae sus argumentos entremezclados de todos los niveles del desarrollo de las ciencias y de las teorías erróneas como también de las otras; pero no deja de sostener por ello que la identificación es el único acto posible de la razón: sólo el experimento nos informa sobre la validez o la falsedad de las identificaciones, pero todas ellas son racionales, tanto unas como las otras. Sin embargo, en el caso de la potencia aristoteliana y de lo virtual de los físicos modernos no es únicamente el experimento el que decide: éste es radicalmente incapaz de mostrarnos que una propiedad constatada "en acto" no existía "en potencia" anteriormente, pues siempre es posible arreglarse para encontrar las definiciones susceptibles de satisfacer los datos. Que el opio hace dormir porque tiene una virtud somnífera es una identificación inobjetable desde el punto de vista de la experiencia.

Lo que ha dado fin a ese tipo de razonamientos es su esterilidad, mientras que la identidad que obra en la composición operatoria está vinculada con el juego de operaciones directas e inversas, y lo propio de la razón es construir o "componer" y no identificar.

Si pasamos ahora al problema general que nos plantea la epistemología sobre el concepto de fuerza, resulta evidente que su supervivencia se debe a las composiciones operatorias a las que se presta y que dichas composiciones son las que constituyen las verdaderas "causas" de las leyes que se constatan en forma de relaciones de aceleraciones.

Ahora bien, es notorio que E. Mach, en su célebre *Histoire de la Mécanique* propone atenerse únicamente a la aceleración y reconstruir sobre esa base la mecánica celeste, mediante las relaciones entre las aceleraciones y las masas. F. Enriques, en su hermosa obra que ya hemos tenido la ocasión de discutir ("Introd.", § 3), basándose en las preocupaciones genéticas que le hacen relacionar directamente las operaciones del pensamiento con los datos de la percepción, responde a esto lo que sigue: "la existencia de una *fuerza* es un hecho *físico* definido por *sensaciones musculares de esfuerzo y de presión.* Desde ese punto de vista el concepto de fuerza nada tiene de misterioso ni de metafísico, no más que el movimiento o cualquier otro fenómeno, cuya definición real siempre se reduce, en último análisis, a un grupo de sensaciones que se producen en ciertas condiciones provocadas voluntariamente".[42] Este pasaje es muy revelador en cuanto a las dificultades a las que uno se ve expuesto si quiere fundar la epistemología sobre la sensación y no sobre la acción. Por una parte, en efecto, una sensación es un hecho psíquico y no físico; se trataría por consiguiente de determinar con cuidado las relaciones entre ese hecho mental y el hecho físico correspondiente: de atenernos únicamente al hecho sensorial, en su aspecto inmediato, justificaríamos tanto el finalismo de Aristóteles como el concepto de fuerza ¡puesto que todo movimiento percibido en sí mismo merced a sensaciones cinestésicas es acompañado de intencionalidad! Por otra parte, hablando desde un punto de vista psicológico (puesto que nos colocamos en ese terreno) la sensación forma parte de una acción; Enriques parece reconocerlo, en verdad, puesto que añade la precisión restrictiva "sensaciones que se producen en ciertas condiciones provocadas voluntariamente", lo cual implica toda la acción. Es el desarrollo de esa acción, desde el plano sensoriomotor al plano operatorio, el que interesa a la física y a la epistemología científica, y no la sensación cuya función es sólo señalizadora. Entonces, desde el plano sensoriomotor, como hemos visto anteriormente (§ 5), la conducta del esfuerzo es precisamente una conducta de aceleración: ¡invocar la sensación de esfuerzo muscular es simplemente remontarnos a la aceleración! Lo que el concepto de fuerza agrega al de aceleración pura son, por ende, las composiciones operatorias a las que aquél da origen y, en particular, el modo en que se emplean las velocidades

[42] *Les concepts fondamentaux de la science*, pág. 114.

los trabajos virtuales, es decir, determinados movimientos, por volverse necesarios cuando ciertas situaciones posibles se realizan, pero no por ser actuales.

En definitiva, como relación operatoria entre las aceleraciones y las masas, etc., la fuerza constituye el modelo de los conceptos que no podrían dar lugar a una percepción o a una intuición representativa directas. Suministra por consiguiente el ejemplo más claro de la construcción de los conceptos mecánicos y físicos esenciales por su descentración, a partir de intuiciones egocéntricas iniciales. Simple asimilación, al principio, de los movimientos percibidos en el esquema del esfuerzo muscular —esquema que resulta, como lo viéramos, de una toma de conciencia incompleta de las conductas de aceleración— la fuerza es descentrada poco a poco de la actividad propia en función de la descentración general inherente a la elaboración de los sistemas del mundo: ahora bien, precisamente en la medida en la que se disocia así de los elementos egocéntricos de la acción, la fuerza da lugar a composiciones reversibles entre operaciones que se efectúan sobre las velocidades y las aceleraciones de los objetos de masas diferentes; y esa descentración con respecto al sujeto se traduce por una coordinación operatoria susceptible de unirse a las coordinaciones lógico-matemáticas más generales, como lo prueba la naturaleza deductiva y formalizable de la mecánica racional. De este modo, la asimilación egocéntrica a la actividad propia, una vez descentrada, se convierte en asimilación a las coordinaciones generales de la acción; este pasaje o mejor dicho esta inversión progresiva de sentido es el que ilustra la historia de la fuerza, a partir de sus formas biocéntricas iniciales hasta su matematización final.

Por lo demás la mecánica clásica no marca la etapa última de esa evolución. Queda por examinar, en efecto, la suerte de la "fuerza de atracción" y la manera en que la teoría de la relatividad ha entreabierto el velo que la cubría: vamos a comprobar, empero, que la relatividad einsteiniana ha obtenido ese resultado, en lo que se refiere a la fuerza de gravitación mediante un nuevo y poderoso esfuerzo de descentración general, haciendo cesar así el "escándalo" vinculado con su representación sustancialista, último refugio de las intuiciones egocéntricas de la fuerza.

9. La teoría de la relatividad y los nuevos "absolutos". Uno de los progresos esenciales de la mecánica clásica y en especial de la teoría newtoniana de la gravitación, comparadas con la física de Aristóteles, fue la de disociar del espacio y del tiempo los fenómenos inherentes al movimiento, a la velocidad y a la fuerza. El espacio y el tiempo se han convertido así en absolutos del sistema newtoniano, vastos continentes en cuyo interior se desarrollan los fenómenos físicos, pero que son indiferentes a su contenido. Desde el punto de vista genético, sin embargo, hay en eso algo sorprendente, pues el espacio es la coordinación de los movimientos, y el tiempo, la coordinación de las velocidades. Sin duda, como ya lo viéramos, si se concibe el movimiento como simple desplazamiento, es decir, cambio de posición independiente de las velocidades, se trata entonces de un aspecto bastante general de la acción para que pueda ser separado

de los objetos a los que se aplica, de donde surge la independencia de la geometría matemática con respecto al espacio físico. Pero cuando se trata de coordinar los movimientos de esos mismos objetos en cuanto se los considere especializados según sus velocidades, la acción constituida por esa coordinación parece inseparable de las acciones físicas propiamente dichas, tales como empujar, levantar, acelerar, etcétera.

Newton ha salido airoso de esa dificultad psicológica de un modo muy interesante, atribuyendo a Dios mismo las sensaciones constitutivas del espacio y del tiempo (¡siempre las sensaciones y no las acciones!): el espacio y el tiempo se transforman, entonces, en el *sensorium Dei* (mientras que Kant los transforma en un *sensorium hominis*, pero propio del sujeto trascendental). Sin embargo, en este absoluto teológico, se descubre enseguida la índole egocéntrica de los absolutos aristotélicos. Hacer de Dios el centro del espacio y del tiempo, por cierto, significa un progreso de la decentración con respecto a la concepción de un espacio centrado sobre la tierra misma, y Newton podrá contestar, parafraseando a Pascal, que el centro de ese círculo divino está en todas partes y su circunferencia, en ninguna; empero y a pesar de todo, hay un cierto antropomorfismo en encomendar así, al creador del mundo, el control permanente de los movimientos y velocidades, pues el único fin de esta coordinación sobrenatural es, en última instancia, el de regular nuestros propios metros y relojes, ¡erigidos en reflejos directos de la sensación divina! Además, la misma diferenciación de tiempo y de espacio es fácil de llevar a cabo a las velocidades reducidas con que vivimos, las que nos permiten desplazar un guijarro en nuestro jardín sin tener en cuenta un crecimiento acelerado de los árboles, una erosión inmediata de las montañas o un próximo levantamiento de la corteza terrestre. Por otra parte, ya no podemos ubicar una estrella con relación a otra, sin preguntarnos si su apariencia percibida corresponde a su posición actual o ha sido expedida hace algunos miles de años. De modo que, al vivir en otra escala, estaríamos afligidos sin cesar, por esta clase de problemas, al vernos obligados a coordinar en el espacio objetos cuya percepción corresponde a momentos diferentes del tiempo.

Además, si los absolutos newtonianos pudieran apoyarse sobre las coordinaciones racionales, constituidas por la relatividad del movimiento y la composición de las velocidades, requerirían, aparte, la existencia de una acción a distancia de la fuerza gravitacional y de una velocidad infinita, atribuida a esa acción: es evidente que, sobre estos dos últimos puntos, el teocentrismo del *sensorium* espacio-temporal sólo podía enmascarar el carácter casi mágico-fenoménico de la hipótesis, última herencia debida a los orígenes subjetivos de la noción sustancialista de la fuerza. Ahora bien, desde el momento en que se descubrió la constancia de la velocidad relativa de la luz y la imposibilidad de superarla, no sólo se volvió imposible una acción a distancia, de velocidad infinita, sino que resultó modificado el conjunto de las composiciones espacio-temporales: dilatación de las duraciones y contracción de las longitudes en función de la velocidad del sistema de referencia, nueva forma de la composición de las velocidades,

estrecha solidaridad entre espacio, tiempo y movimientos físicos, etcétera (véase § 3, en V). Además, a partir del momento en que la composición de las velocidades depende de su relación con la de la luz, la masa misma (por lo menos, en determinadas formas que dependen de la aceleración: por ejemplo, relación entre la fuerza y la aceleración, capacidad de impulso, etc.) debe ser concebida como variante de la velocidad. De modo que también la masa deja de conservar un valor absoluto, salvo bajo su único aspecto de cantidad de materia, evaluada en número de electrones. La energía, por su parte, es arrastrada en este movimiento de relativización, pero adquiere una relación de equivalencia con la masa volviéndose intercambiable con ella (con la aproximación de coeficiente de proporcionalidad que es la inversa del cuadrado de la velocidad de la luz).

Estos resultados, ya obtenidos por la teoría de la relatividad restringida, que acordaba todavía un privilegio a los sistemas de referencia galileanos, han encontrado, de inmediato, una generalización sorprendente por la asimilación de la gravitación misma a las fuerzas de inercia (es decir, fuerzas como la centrífuga o aquella fuerza cuyo efecto sentimos sobre un vehículo en movimiento rectilíneo, que cambia bruscamente de velocidad). El peso, o expresión de la gravedad, se hace, así, asimilable a la masa inercial y, así como el peso varía según los puntos del campo gravitacional, también la fuerza de inercia, que en adelante, equivale a una fuerza gravitacional, puede ser ligada a un "punto del universo" determinado, es decir, a un punto del continuo espacio-temporal que constituye un "universo" en el lenguaje de los relativistas. A partir de entonces, para rendir cuenta de esas "fuerzas" de inercia o de gravedad, será suficiente admitir que el continuo formado por el espacio-tiempo no sea euclidiano, sino que presente "curvaturas": de ahí que la gravedad recibe, de la manera más directa, una explicación geométrica, y traduce simplemente la estructura del espacio-tiempo. Pero, a la inversa, si el continuo presenta esas curvaturas, es porque se modifica por el contacto con las masas, y la fuerza se vuelve de ese modo una expresión de las estructuras espacio-temporales• influidas por su contenido de masas. Ya no hacen más falta las acciones a distancia, y la gravitación se transmite gradualmente a lo largo de las "líneas de universo". La medida de las curvaturas puede hacerse directamente, como ya lo había mostrado Gauss para una superficie, por el empleo de las coordenadas que llevan su nombre: generalizadas al continuo espacio-temporal, permiten entonces el cálculo del famoso ds^2 o aplicación del teorema de Pitágoras al sistema de coordenadas así concebido.

Esa sacudida de los conceptos que parecían firmemente establecidos dio como resultado, al margen de la significación intelectual considerable aportada a la solución del problema de la gravitación, poder atribuir una forma invariante a las leyes naturales, cualesquiera que fueran los sistemas de referencia adoptados: "las leyes de la naturaleza son independientes del sistema de referencia elegido para representarlas"; tal es la significación última del principio de relatividad. Se comprueba así la extensión alcanzada por la teoría de Einstein a partir de la relatividad galileana, con un mismo sentido de orientación epistemológica. Mientras

que se concebía únicamente el movimiento como relativo, sólo los movimientos internos de un sistema arrastrado por un movimiento rectilíneo y uniforme podían ser estudiados haciendo abstracción del movimiento de arrastre. Con la asimilación de la gravitación a las fuerzas de inercia, las leyes de la naturaleza pueden llegar a concebirse idénticas a sí mismas, al margen de todos los sistemas de referencia.

La primera cuestión que se plantea, desde el punto de vista epistemológico es, por lo tanto, la de determinar la relación entre lo absoluto y lo relativo, condición previa para la comprensión de las relaciones que existen entre el objeto y el sujeto cognoscente, en la física de la relatividad. A ese respecto se puede decir de la teoría de la relatividad que constituyó un gran paso en dirección de lo absoluto. En un capítulo sumamente interesante y muy objetivo de sus *Initiations à la Physique*, titulado "De lo relativo a lo absoluto", Max Planck llega a la siguiente conclusión: "la teoría de la relatividad, tan a menudo mal comprendida, no solamente no ha suprimido lo absoluto, sino que ha destacado más que nunca cuán ligada está la física a un mundo exterior absoluto".[43] E. Meyerson insiste sobre el hecho de que la relatividad es una "teoría de lo real".[44] Cae de su propio peso el hecho de que así deba ser, y sólo puede ser objetado por esos positivistas de matiz solipsista para los cuales "lo absoluto sólo se encuentra en nuestras impresiones personales" como lo dijo Planck al pensar sin duda en los discípulos de Mach. En cuanto a la epistemología genética, cuyo principio defendemos aquí y que es relativista por el método y en todos los campos, se sobreentiende que ella no podría negar a priori la existencia de un absoluto; pero, para tener el derecho de hablar de ella, haría falta que se la pudiera alcanzar al margen de los sistemas de referencia constituidos por las mentalidades históricas sucesivas. Partiendo de allí y para permanecer fiel a sus métodos psicológicos e histórico-críticos, la epistemología genética plantea el interrogante de si este absoluto, puesto de manifiesto por la teoría de la relatividad, es definitivo y si tiene por lo menos el mismo carácter que los absolutos a los que han llegado las interpretaciones de los niveles históricos precedentes.

En cuanto al primer punto, la autoridad de Planck, quien habla del absoluto como técnico de la ciencia y no como teórico, es un testimonio de un valor excepcional: "¿Quién podría garantizarnos que un concepto al que atribuimos hoy en día un carácter absoluto, no ha de concebirse más tarde como relativo, al colocarse en un nuevo punto de vista y al ceder su lugar a otro absoluto de un carácter más elevado? Hay una sola respuesta a esa pregunta: de acuerdo con lo que sabemos actualmente y lo que hemos aprendido, no hay nadie que pueda darnos esa seguridad. Más aún, debemos tener por cierto que nunca llegaremos a aprehender realmente el absoluto. Este es para nosotros meramente una meta ideal: lo tenemos siempre ante la vista, pero nunca lo alcanzaremos" (pág. 143). En cuanto

[43] Pág. 142.
[44] E. Meyerson: *La déduction relativiste*, cap. V.

a la "realidad" de Meyerson, está conformada en parte, como lo sabemos, con conceptos "deducidos", luego "hipostasiados" en el mundo exterior, y en parte con la diversidad irracional derivada del propio mundo: se trata pues de una realidad "vicariante", por así decirlo, que cambia de aspecto a medida que se elaboran las teorías, como lo ha probado el propio Meyerson. El fiel comentarista del gran epistemólogo, A. Metz, se pregunta cómo "se ha podido equivocar" L. Brunschvicg (cuyo pensamiento ha captado bastante mal, por lo demás). "Es porque la *realidad*, la *ontología* postulada por la nueva teoría (la relatividad) no es la del sentido común, y se aparta de éste más que las *ontologías* construidas por las teorías científicas anteriores." [45] Esa variedad de las "ontologías" reconocida por A. Metz, es el argumento principal sobre el que se apoya la tesis de Brunschvicg, en cuyas antípodas cree hallarse A. Metz, reduciéndola a lo siguiente: "¡que el concepto de causalidad ha variado mucho desde los orígenes del pensamiento científico!"

Si se encaran las cosas sin un juicio preconcebido habrá que reconocer que cada teoría científica, desde Aristóteles hasta Einstein, trata de liberar un absoluto a través de los sistemas de referencia supuestamente relativos, pero ese absoluto se transforma de una manera apreciable de una teoría a otra. Nada resulta más instructivo, en ese sentido, que la comparación de los absolutos einsteinianos con los de la mecánica clásica. Todos los grandes principios se salvan, según nos dice Planck, y ello es cierto. Pero al mismo tiempo todos son transformados. El principio de inercia ya no es el de Galileo: abarca la gravitación y no solamente el movimiento rectilíneo y uniforme en el sentido galileano. Se convierte así en una conservación de un "impulso del universo" y no solamente de un movimiento en el espacio. Se mantiene la conservación de la energía, pero ya no se trata del mismo principio, puesto que en él queda incorporada una "energía de reposo", interior a las masas, y la energía adquiere una inercia. También se mantiene la conservación de la masa en cierto sentido, pero bajo una forma fusionada con la energía misma y disociando los diferentes aspectos del concepto de masa: la conservación de la cantidad de materia se reduce entonces a la del número de electrones (hasta el día en que se vea cómo algún electrón se disocia). Resumiendo, todo se conserva, aunque en una nueva forma que hubiera dejado estupefacto a un físico en los alrededores de 1880; desde entonces, algunos absolutos antiguos se han convertido en relativos y a la inversa, algunas realidades esencialmente relativas se han convertido en absolutos como la velocidad relativa de la luz, que hasta ha adquirido el rango de velocidad *máxima* (en un sentido comparable al cero absoluto de la temperatura).

La invariancia de las leyes de la naturaleza al margen de los sistemas de referencia, que se vuelve mayor en la teoría de la relatividad que en la física clásica, toma un nuevo sentido, con un evidente alcance epistemológico. Los términos que intervienen en las relaciones que constituyen esas leyes varían de un sistema de referencia a otro, en cuanto expresan un

[45] A. Metz: *Une nouvelle philosophie des sciences: le causalisme*, pág. 175.

espacio, una duración, una masa, una forma, etc. Pero esas variaciones son solidarias entre sí y constituyen, pues, un sistema de *covariancias*: esa covariancia de los términos es la que asegura la estabilidad de las relaciones, es decir de las leyes de la naturaleza, cuya invariancia es el resultado de una covariancia y no de una fijeza estática (e ilusoria por ser relativa a un solo sistema de referencias considerado).

Afirmar que las leyes de la naturaleza se han independizado de todo sistema de referencia, es decir, que existe un absoluto distinto del relativo mediante el cual se lo alcanza, implica expresar la siguiente verdad epistemológica: la invariancia del absoluto depende del sistema de transformaciones operatorias utilizadas para coordinar entre sí los sistemas de referencia. Dicho de otro modo, si se devuelve al espacio, al tiempo, a la masa, etc., su carácter absoluto anterior, entonces las leyes de la naturaleza dejarán de ser invariantes, pero si se relativizan esos antiguos absolutos espacio-temporales, entonces se volverán invariantes los nuevos absolutos. Esto no significa, desde luego, que el sistema de las transformaciones operatorias, usado para coordinar los sistemas de referencia, sea arbitrario y no conforme con los datos de la experiencia: pero, por más íntimas que sean las relaciones entre la experiencia y las nuevas transformaciones operatorias, o más bien, precisamente porque esas relaciones son cada vez más íntimas, existe la solidaridad necesaria entre los nuevos absolutos y las nuevas relativizaciones adoptadas.

¿Cuál es entonces la parte del sujeto y la parte del objeto en el conocimiento constituido por semejante física? En primer lugar, mucho más que en la relatividad galileana, las acciones del sujeto forman parte del sistema de las transformaciones objetivas que él trata de conocer. En el universo de Aristóteles, el sujeto contempla desde afuera un mundo fijo, y todo el esfuerzo de descentración que se le pide es el de situarse espacialmente como una parte en el todo: las otras partes del todo le son dadas entonces por intuición directa. En el universo de Copérnico, de Galileo, de Newton, el sujeto está en movimiento y sus acciones ya constituyen una parte integrante de un sistema cinemático y mecánico que él llegará a dominar sólo por una descentración operatoria que consiste en poner los movimientos en una relación recíproca entre sí. Desde ese punto de vista, ya no existe una intuición directa de los movimientos: el sujeto se sitúa por la deducción y el cálculo, o sea por una construcción operatoria. Pero, por lo demás, poseedor de un espacio y de un tiempo absolutos, cree alcanzar directamente un vasto dominio de lo real, sustraído a cualquier relatividad. En la mecánica relativista, por el contrario, sus estimaciones espaciales y temporales, con todo lo que entrañan, son por sí mismas relativas, es decir que forman parte integrante de un sistema de transformaciones objetivas con las cuales permanecen solidarias: el metro y el reloj, que el sujeto construye, ya no son exteriores a las longitudes o a las duraciones que deben medirse, sino que están modificados por transformaciones que aquéllos no alcanzan a constatar simplemente y que se trata de reconstituir por deducción. El que mide y lo medido, como lo expresara L. Brunschvicg,

se han vuelto interdependientes y la cuestión reside en extraer de su reciprocidad la invariancia de las leyes que se han de establecer.

Mas, ¿qué significa esto desde el punto de vista del carácter de lo real (lo real concebido en ese nivel, desde luego) y del carácter de la actividad del sujeto? Sobre ese punto tan delicado se han producido los más serios malentendidos y las discusiones se han vuelto tan confusas que no hay seguridad en cuanto al sentido de las palabras que emplean los autores. Unos hablan del sujeto en el sentido exclusivo de la percepción y de las sensaciones, mientras que otros entienden por sujeto al que juzga y al que mide, es decir al que lee las indicaciones de su metro y de su reloj y que deduce lo real de la coordinación de sus lecturas. Pero también desde ese segundo punto de vista hay un equívoco en el vocabulario: E. Meyerson llama "objeto" al producto de la medida y de la deducción, mientras que L. Brunschvicg vincula con el sujeto la actividad de medir (de donde surgen los malentendidos de A. Metz que ya citamos). Dichos malentendidos demuestran, además, por sí mismos cuán nuevo es el tipo de interacción entre el sujeto y el objeto, ante el que nos encontramos en la teoría de la realidad.

Para liberarnos de ellos, conviene ante todo eliminar la deplorable psicología que ha hecho creer a tantas mentes sensatas que la fuente de los conocimientos era la sensación sola, cuando, en realidad, ella también está referida a la acción. De aquí se infiere que Mach, seguido por Enriques y muchos otros, cree alcanzar a la vez al sujeto y al objeto haciendo "el análisis de las sensaciones". Su discípulo Petzoldt interpreta la relatividad consiguientemente, compara a Einstein con Protágoras y reduce lo relativo a la subjetividad sensible. Lo inverso ocurre con E. Meyerson, quien por falta de una teoría suficiente de la percepción (vol. I, capítulo III, § 4), se facilita algo la tarea, en su refutación del idealismo, y declara que "el retorno hacia un idealismo que tenga su punto de arranque en la sensación será tanto más incómodo cuanto más se haya alejado la física del yo que siente".[46] En efecto, si fundamos, con Brunschvicg, el idealismo sobre el juicio, es decir justamente sobre esa "deducción" que, según Meyerson, conduce a lo real, podemos ver en la relatividad una corriente favorable a la interpretación idealista. En lo que concierne a la psicología que defenderemos, ésta consiste precisamente en sostener que la actividad del sujeto tiende a liberarlo de su egocentrismo, es decir, entre otras cosas, a alejarlo de la intuición sensible en favor de un sistema de operaciones que relacionan indisolublemente al sujeto con el objeto. Ni el vocabulario realista, ni el lenguaje idealista convienen pues a la expresión del relativismo einsteiniano que es una manifestación, por excelencia, de esa descentración.

La teoría de la relatividad reserva, en efecto, una parte infinitamente mayor a la actividad del sujeto así entendida que la mecánica clásica, y a fortiori, que la física de Aristóteles. Y no sólo incrementa la necesidad

[46] *Déduction relativiste*, pág. 75. Véanse págs. 74-75, la alusión a Platón: "y esa circunstancia sería suficiente, según parece, para demostrar que una concepción idealista no se halla excluida"

de su intervención, sino que prolonga, con singular claridad, en el plano del pensamiento científico, la serie de las etapas que orientan dicha actividad, desde el egocentrismo perceptivo hasta la descentración operatoria y, en el campo del desarrollo histórico de las operaciones, desde el egocentrismo de Aristóteles hasta la descentración copernicana y cartesiana.

Comenzando por la percepción misma, la actividad del sujeto queda marcada por una descentración que corrige, coordinándolas, las centraciones sucesivas con efectos respectivos deformantes (vol. I, cap. II, § 4). A partir de ese trabajo inicial de la actividad perceptiva y de la inteligencia, que constituye ya en cierto sentido un establecimiento de reciprocidad entre los sistemas de referencia, se plantea el problema (como ya lo hemos visto anteriormente, § 2 y 3 del presente capítulo) de corregir las falsas impresiones de simultaneidad y de sucesión, las dilataciones o contracciones de la duración, y también, como lo mostráramos anteriormente (vol. I, cap. II, §§ 4-7) de corregir contracciones y dilataciones de las longitudes aparentes. Se sobreentiende que los hechos en cuestión nada tienen en común directamente con las medidas científicas del tiempo y del espacio en la física de la relatividad,[47] pero demuestran del modo más evidente (y eso es todo lo que queremos inferir aquí) que la actividad del sujeto se manifiesta desde el nivel sensoriomotor más elemental por una "descentración" (hemos denominado así, en teoría de las percepciones, la coordinación de las centraciones sucesivas), es decir por una reciprocidad de los puntos de vista. Hemos visto, asimismo que, en el nivel de la representación intuitiva y preoperatoria, las dificultades esenciales de la intuición estaban ocasionadas por una "centración" originada no ya por las fijaciones de la mirada o de los órganos sensoriales, sino por la asimilación de los objetos a la actividad propia instantánea, siendo corregido poco a poco ese "egocentrismo" por las articulaciones progresivas de la intuición, cuya movilidad y reversibilidad crecientes culminan en operaciones concretas. El nacimiento de las operaciones racionales se debe pues esencialmente a una

[47] Pero podría ocurrir que un día la relatividad intervenga en la fisiología de la percepción, cuando se conozcan mejor las corrientes eléctricas del sistema nervioso y los "campos" polisinápticos. Llama la atención comprobar, por ejemplo, que la centración de un objeto dilata el espacio percibido, como si la atención perceptiva modificara su estructura: hay aquí una interacción entre la energética del campo y su estructura espacio-temporal que podría presentar alguna analogía con el modo en que la masa introduce curvaturas en el espacio físico. Cuando Petzoldt, en un texto citado por E. Meyerson, dice que "es inevitable que, por la teoría de la relatividad, la física se encuentre más próxima de la fisiología de las sensaciones" (véase *Déduction relativiste*, pág. 121), enuncia una verdad posible que formularíamos, por nuestra parte, en sentido inverso y sin aceptar que tenga la interpretación de la relatividad que nos da el autor. Nos parece que Meyerson, al no distinguir esas dos cuestiones de la interpretación de la mecánica relativista dada por Petzoldt y de las analogías posibles entre los mecanismos perceptivos y los hechos físicos, ha tratado a la ligera ese problema, al oponer de una vez y para todas las ciencias del espíritu y las ciencias físicas, y al afirmar inclusive "que el abismo que separa esas dos ramas del saber humano, por el contrario, se ha ensanchado considerablemente" (*Ibíd.*, pág. 122).

descentración y a una coordinación correlativas de los puntos de vista o de los diferentes sistemas de referencia ligados a las acciones o a las intuiciones sucesivas; se debe sobre todo a una descentración y a una coordinación de los puntos de vista o sistemas de referencia ligados a los diferentes individuos (observadores), obligados a poner sus perspectivas en reciprocidad. Hemos comprobado a ese respecto que las primeras medidas espaciales o temporales presuponían un mecanismo operatorio ya muy complejo y, por ende, una actividad del sujeto que descentra sus acciones en provecho de la coordinación y del movimiento. La función del sujeto en el conocimiento no se reduce, por ende, a la sensación, sino que está formada por composiciones operatorias, y la confusión de esos dos términos opuestos, situados en las verdaderas antípodas uno con respecto al otro, es la única que explica los malentendidos que complican las discusiones acerca del papel que desempeña el sujeto en el conocimiento relativista.

Cuando el capitán Metz, con el realismo propio de un oficial de artillería, nos advierte: "Que nadie se engañe aquí; en efecto, cada vez que hablamos de un observador opuesto a otro, no se trata, de ninguna manera, de una oposición más o menos filosófica de dos concepciones o de dos imágenes mentales, sino de una diferencia registrada realmente por los aparatos de medida",[48] da la impresión de creer que el tiempo relativo se impone a nosotros gracias a las simples comprobaciones que podría efectuar, con un reloj, el sujeto más pasivo inventado por la filosofía empirista. Y bien, acabamos de recordar que ya la lectura del tiempo y del espacio absolutos, con un reloj o con un metro, suponen un mecanismo operatorio muchísimo menos simple de lo que uno pueda imaginarse antes de haber estudiado, de cerca, su formación en el niño. Cuando se trate ahora de coordinar las lecturas realizadas con dos relojes colocados a cierta distancia sobre móviles de velocidades muy diferentes, ¿qué significará la comprobación del hecho? Considerando que los observadores (y hablamos de físicos que leen sus instrumentos y no de "filósofos" limitados por "imágenes mentales") están sujetos a sus propios sistemas de referencia y que los medidores son modificados por el proceso a medirse, la comprobación de la relatividad del tiempo ya no consiste, entonces, en una simple percepción producida por la posición de las agujas: se trata, por el contrario, de interpretar este dato por medio de un grupo de operaciones que coordinan el conjunto de las relaciones en juego, es decir, el conjunto de las relaciones establecidas entre las lecturas perceptuales.[49] La actividad del sujeto no es más asimilable, por ende, a una "sensación" que aprehende uno o varios objetos sensibles, sino a una inteligencia obligada

[48] A. Metz: *Temps, espace, relativité*, pág. 66.

[49] Esas operaciones se expresan por la fórmula:

$$t' = [t - (v/c^2)\, x] / \sqrt{1 - (v^2/c^2)}$$

donde *t'* es el tiempo medido en el sistema en movimiento, *v* la velocidad de dicho sistema, *t* el tiempo en el sistema fijo, *x* la distancia al origen y *c* la velocidad de la luz.

a descentrarse de todo lo que constituye su absoluto habitual, para poner en reciprocidad su propio sistema de referencia con los otros y extraer la covariancia. ¿Cuál es aquí el tipo de "realidad" que capta esta inteligencia? Ya no se trata de una realidad sensible, como la cualidad propia de un objeto, ni de una cualidad general característica de una clase de objetos, ni de una relación simple, sino de una especie de relación de relaciones, es decir, de una realidad tan difícil de percibir que la ciencia occidental necesitó más de 25 siglos para sospechar su existencia. No negamos en absoluto que ese sistema de relaciones sea "real", aunque tengamos que buscar lo que ese término significa en especial, pero debemos darnos cuenta de que, para captarlo, el sujeto queda constreñido de allí en adelante a un trabajo mucho más activo que el del peripatético que sincronizaba con la sombra lunar de su "polos" el pasaje de una estrella localizada con respecto a la tierra, o que el del newtoniano que tenía en cuenta los movimientos relativos pero que confiaba en el tiempo absoluto.

La actividad operatoria del sujeto, constructora de relaciones y coordinadora de acciones, es pues proporcional a la importancia de los elementos "relativos" que deben componerse entre sí; esto ocurre porque los elementos en cuestión requieren una mayor descentración con respecto al yo perceptor. Hasta ese punto creemos permanecer en la evidencia pura.

Hecho este planteo, el problema consiste en caracterizar el modo de realidad que se refiere, por una parte, a los elementos covariantes que definen, pues, lo "relativo" del sistema y, por la otra, a los elementos invariantes que constituyen los absolutos propios de la teoría de la relatividad. La epistemología genética no necesita elegir en bloque entre el realismo y el idealismo, sino que sólo debe delinear las "direcciones" del pensamiento; por lo tanto se trata esencialmente de determinar en qué dirección se ha orientado desde ese doble punto de vista la física relativista con respecto a la mecánica clásica o a la física de Aristóteles.

En la medida en que la sucesión de esas tres grandes etapas del pensamiento físico se caracteriza por una serie de descentraciones exigidas del sujeto, cada vez más grandes y, por ende, por una actividad operatoria cada vez más necesaria para asegurar el contacto con los "hechos", se puede sostener recíprocamente que el objeto físico retrocede a una distancia creciente a partir de la experimentación directa. La experiencia es, en efecto, tanto más fenoménica cuanto más egocéntrico permanezca el sujeto: el fenomenismo expresa la superficie de lo real tal como aparece ante el sujeto, y el egocentrismo expresa el aspecto más inmediato o el más local, por lo tanto el más superficial, de la actividad propia; se puede decir entonces que la unión inicial del fenomenismo y del egocentrismo expresa así el límite común al objeto y al sujeto, el más exterior respecto de ambos. Y, a la inversa, cuanto más activo sea el sujeto en el sentido de la descentración coordinadora, con tanta mayor razón se producirá un movimiento correlativo: movimiento de internalización en el sujeto, que, al multiplicar sus composiciones operatorias, las subordina en mayor grado a las coordinaciones generales de su acción y elabora dichas coordinaciones en sistemas tanto más generales cuanto más se profundicen por un análisis reflexivo

(es decir, por reconsideración de principios); movimiento de externalización, por otra parte en el objeto que, a medida que se produce la descentración operatoria, es tanto más construido o "deducido" y tanto más se aleja de los objetos inmediatos o próximos concebidos, durante los estadios anteriores, como independientes del observador (aunque reconocidos a continuación como referidos a él). Es evidente, desde luego, que ese doble proceso sólo puede resultar significativo admitiendo la hipótesis de una actividad deductiva que no se limita únicamente a la identificación. Si se supone que la razón permanece siempre semejante a sí misma y que su única función se reduce a la identificación, la aseveración anterior desemboca en la siguiente tautología: cuanto más deduce el sujeto, tanto más es deducido el objeto. En cambio, si se postula la hipótesis de que la razón se elabora por etapas y en función de sus descentraciones sucesivas a partir de la acción perceptual inmediata, sus composiciones operatorias se desarrollarán según un proceso que es a la vez constructivo y reflexivo: producirán el efecto de hacer retroceder sin cesar el objeto, desprendiéndolo cada vez más de sus adherencias subjetivas iniciales, y de externalizarlo en función de las coordinaciones que relacionan los procesos con los sistemas de referencia y con sus transformaciones "relativas". En otros términos, a medida que se construye la razón, se externaliza el objeto, pues sólo podría objetivarse apoyándose sobre las composiciones operatorias del sujeto, en virtud (una vez más) del hecho de que los procesos de descentración constituyen la condición necesaria de la coordinación.

A ese respecto, la comparación entre la formación de los instrumentos deductivos y los diversos modos de la experimentación en los tres niveles de la física, el de Aristóteles, de la mecánica clásica y de la mecánica relativista, llama poderosamente la atención. En la física de Aristóteles, la experiencia sigue siendo fenoménica y la deducción, que es puramente cualitativa, la sigue casi servilmente. La mecánica clásica ha surgido, por el contrario, de la constitución simultánea de un tipo nuevo de experiencia, sistemática y objetiva, así como de formas de deducción matemáticas necesarias para la lectura y su interpretación: la geometría analítica y el cálculo infinitesimal. En la teoría de la relatividad, empero, la situación se invierte de una manera realmente asombrosa: la construcción de los instrumentos geométricos y analíticos ha precedido, en mucho, a su aplicación experimental. La geometría riemaniana, que expresa las curvaturas de un campo gravitacional, nació de una generalización del espacio que hacía abstracción de un postulado de evidencia intuitiva, pero cuya no demostrabilidad lo había signado como no necesario. En cuanto al cálculo tensorial creado por Ricci y Lévi-Civita, cuyo empleo resultó indispensable a la mecánica relativista, surgió también de una generalización completamente teórica, volviendo absoluto el cálculo diferencial al desprenderlo de todo sistema de referencias. Así fue como los productos de la generalización matemática formal llegaron a servir, mucho después de su elaboración, como marco para los experimentos de la física relativista. En otros términos (como lo vimos en el vol. I, capítulo III), los instrumentos deductivos adaptados a la experimentación más profunda se han construido dando la

espalda, por así decirlo, a la realidad inmediata (en escalas sin relación con la experiencia cotidiana) y esto ocurría años antes de imaginar siquiera la posibilidad de esos nuevos contactos con lo real.

Existe, pues, una relación evidente entre la externalización progresiva del objeto que retrocede a una distancia cada vez mayor con respecto a la experiencia inmediata y la internalización gradual de las operaciones del sujeto, que se alejan correlativamente de la acción real para transformarse en acciones virtuales y cada vez más irrealizables, pero cuya formalización traduce las coordinaciones cada vez más generales de aquéllas. El punto de encuentro inicial entre el objeto y el sujeto es el espacio; hemos visto su doble naturaleza matemática y física según que exprese simplemente las coordinaciones generales de la acción o que incorpore en ella las acciones especializadas ejercidas sobre los objetos. Al principio, esos dos espacios, el de la acción propiamente dicha y el de los objetos sobre los cuales ella opera, están indiferenciados, aunque disociables por el análisis.

Pero luego se diferencian cada vez más y dicha diferenciación constituye precisamente la expresión más directa del proceso más extenso que estudiamos ahora: en la medida en que el sujeto descentra su punto de vista con respecto al objeto, externaliza a éste, por una parte, pero por la otra se obliga recíprocamente a efectuar coordinaciones operatorias que producen el doble efecto de internalizar su pensamiento y enriquecer el objeto con los marcos nuevos en los cuales lo integra. De aquí se infiere que cuanto más afine el sujeto sus esquemas matemáticos, tanto más se comprobará que la naturaleza del objeto descentrado y externalizado es distinta de esa realidad del sentido común que aún está impregnada con elementos subjetivos, o sea egocéntricos, por seguir siendo fenoménica. Pero al externalizarse gradualmente, el objeto no pierde en modo alguno el contacto con el sujeto puesto que son las coordinaciones operatorias de éste las que permiten esa descentración y esa externalización.

¿En qué consisten entonces esos modos de realidad más y más externalizados, por ser menos antropomórficos, que alcanza el pensamiento físico? Por una parte, lo "relativo", es decir el conjunto de las covariaciones inherentes a los sistemas de referencia, traduce las coordinaciones operatorias mismas que el sujeto elabora por el mero hecho de su descentración. Por otra parte, los "absolutos", es decir los invariantes descubiertos a través de esas transformaciones covariantes, son deducidos sólo merced a la relativización creciente de éstas. Se forma un ciclo cerrado y por esta razón dichos absolutos jamás son alcanzados en sí mismos.

En el caso particular de la teoría de la relatividad, ese contacto permanente del sujeto y del objeto se traduce con una claridad nunca igualada hasta entonces (a pesar del sueño cartesiano), por una geometrización de la realidad misma. Ésta resulta en parte, en efecto, de los progresos reflexivos realizados por la geometría abstracta a la que dieron origen las coordinaciones mentales del sujeto. Pero esa geometrización del objeto físico toma además un rumbo que ni Descartes, ni la mecánica clásica hubieron podido prever y que es conforme precisamente al esquema de descentración y al de coordinación combinados, que expresan el conjunto

del desarrollo: esa geometrización se orienta en el sentido de una diferenciación mayor entre el espacio físico y el espacio geométrico, aunque éste sirva como un instrumento necesario de coordinación para aquél.

En efecto, el espacio físico, según la teoría de la relatividad, forma cuerpo con su propio contenido en lugar de constituir un simple continente. El espacio que, para Aristóteles, dirigía los móviles asignándoles como fin un lugar propio, se había tornado indiferente a los movimientos en la mecánica clásica. En la mecánica de la relatividad, hay, en verdad, isotropía de la luz y subsisten los movimientos inerciales, pero son las curvaturas del espacio las que determinan las trayectorias, de donde surge la geometrización de la gravitación. Más aún, la materia se reabsorbe parcialmente en el espacio, cuyas "arrugas" expresan las cualidades físicas en sí. La física se fusiona así en parte con la geometría de los objetos, en el sentido de que el espacio ya no es más un continente que actúa sobre su contenido, como en Aristóteles, o indiferente a su contenido, como en Descartes: ya no hay ni contenido ni continente, sino un todo único cuyos diversos aspectos se mantienen indisolubles, y un todo cuatridimensional, que incorpora el tiempo a las dimensiones del espacio. El modo de existencia entonces, al que tiende la realidad material bajo su aspecto relativo no es otra cosa que un sistema de coordinaciones espaciales que incorpora las propias covariaciones físicas, mientras que los absolutos son las singularidades del campo espacio-temporal, que se puede descubrir de un modo invariante por medio de todos los sistemas de referencia.

Deducimos entonces dos consecuencias de una importancia epistemológica considerable. La primera, a la cual hemos de volver, está vinculada con la naturaleza de la explicación física. Al vincular la física con lo espacial, no se identifica sin más lo superior con lo inferior, en tanto complejo y simple, de donde surgen las resistencias irreductibles de lo "diverso" a la identificación (tales que, según Meyerson, "la ciencia al progresar, incluye más elementos irracionales en sus explicaciones"[60]). Por el contrario, resulta que la asimilación es recíproca: aunque la curvatura del universo explica el hecho físico, ella misma depende de la cantidad de partículas materiales presentes. En otras palabras, la explicación no es una reducción en un sentido ni en el otro, sino una composición que abarca lo superior y lo inferior en un mismo sistema de transformaciones. Explicar una propiedad material por una curvatura del espacio no es entonces suprimir la primera en favor de la segunda, ni a la inversa, ni ambas en favor de un tercer término: es reunir las características de una y de otra en un sistema operatorio que tenga en cuenta a la vez sus transformaciones respectivas y sus intercambios; es decir, que explique al mismo tiempo lo diverso y lo idéntico. Desde luego, las ideas invocadas (masa, energía, movimiento, espacio, etc.) adquieren, por lo mismo, un sentido diferente del que tenían en el sistema anterior, en el cual su asimilación recíproca no era posible; en esto consiste la descentración que los desubjetiviza y los externaliza con respecto a la acción ordinaria; pero ese nuevo sentido que adquieren no

[60] *Déduction relativiste*, pág. 368.

anula su diversidad: permite simplemente componerla en un todo único organizado de transformaciones solidarias. Ese proceso de composición, que constituye propiamente la causalidad, no es ni la simple inclusión lógica de las leyes unas en otras, que satisface al positivismo, ni la identificación que fracasa por definición, puesto que provoca la resistencia de lo no idéntico: ese proceso es esencialmente operatorio, es decir, reconstruye la variación y al mismo tiempo el invariante, conforme a lo que es el esfuerzo constante de todo pensamiento físico (y matemático).

En segundo lugar, por el hecho de que la composición así obtenida en la explicación einsteiniana de la gravitación se asocia al espacio mismo, esto es, al punto de partida común a la externalización del objeto y a la internalización de las operaciones deductivas del sujeto, la teoría de la relatividad provee una indicación asaz sugerente sobre lo que podría ser la dirección propia del pensamiento físico. Que la externalización cada vez más descentrada del objeto culmine finalmente en una geometrización, ¿no es acaso el mejor indicio de que dicha externalización es solidaria con la internalización del sujeto y que, si se disuelve lo real antropomórfico por querer alcanzar la realidad en sí misma, mientras que el yo se desprende de su egocentrismo para construir sistemas operatorios de internalización creciente, se llega finalmente a un mismo resultado total, que es la asimilación de las cosas a las operaciones y a sus coordinaciones? Cuando Eddington declara, en un pasaje célebre, que "considera la materia y la energía, no como factores que producen los diferentes grados de curvatura del universo, sino como elementos de percepción de esa curvatura" y añade que la materia "es un indicio y no una causa",[51] para concluir diciendo "no teníamos en absoluto la intención de construir una teoría geométrica del universo, pero esa teoría geométrica tuvo origen en la investigación de una realidad física", por los "métodos verificados del físico",[52] expresa en términos muy sugerentes la descentración de lo real con respecto al yo y la asimilación del universo a las operaciones del sujeto. Vimos en el vol. I, capítulo III que, después de un período en el cual los matemáticos atribuían sus operaciones a una simple síntesis subjetiva, habían llegado a admitir una especie de "objetividad intrínseca". Ahora vemos a los físicos que, después de un largo período de simple realismo, llegan a lo que casi podría llamarse "subjetividad extrínseca". ¿Acabarán ambos grupos por encontrarse?

10. Conclusión. La primera conclusión que puede extraerse de lo que antecede es la convergencia de los datos genéticos y de los datos tomados de la historia de las ciencias en lo que se refiere a las ideas cinemáticas y mecánicas. Es natural que exista una relación entre la evolución histórica de las ideas de número o de espacio y el proceso genético que ha presidido su formación, puesto que tanto uno como otro son producto

[51] Eddington: *Espace, temps, gravitation*, pág. 234.

[52] *Ibid.*, pág. 223; véase también en Meyerson (*Déduction relativiste*) la cita de Weyl, pág. 192 y las notas de la pág. 193.

de nuestra actividad. Pero que las ideas físicas, tomando un elemento esencial de los objetos mismos, evolucionen, en el curso del desarrollo de las ciencias, de un modo tal que se pueda vincular con su psicogénesis, resulta más interesante y muestra la unidad de las leyes de la adaptación intelectual al objeto. La conexión del tiempo y de la velocidad se afirma desde el principio de la construcción de esos conceptos, en el niño, para volver a encontrarse en la mecánica relativista. El doble aspecto objetivo (aceleración) y subjetivo (esfuerzo) del concepto de fuerza ha condicionado en dos sentidos contrarios su evolución, como asimismo sus fases iniciales: igual ocurre con el par finalidad × desplazamiento en lo que se refiere al movimiento. Pero sobre todo, la descentración progresiva que ha conducido las ideas mecánicas del realismo antropomórfico a la objetividad relativista procede de un pasaje análogo del egocentrismo al establecimiento de relaciones, proceso que se observa desde los estadios más primitivos e infantiles de constitución del pensamiento físico.

De aquí extraemos la segunda conclusión. Tanto el examen de los estadios de la génesis de las ideas mecánicas como el de su historia en el seno mismo de las ciencias ponen de manifiesto una ley esencial de la evolución: indiferenciados primero, los conocimientos lógico-matemáticos y físicos se separan luego cada vez más según un doble movimiento de internalización y de externalización, y en la medida en que se diferencian emprendiendo direcciones contrarias es cuando mejor concuerdan entre sí. Por más trivial que sea, esta comprobación no deja de encubrir un misterio sorprendente. Hemos visto (vol. I, cap. III) el aspecto matemático: al alejarse de lo concreto, esto es, del objeto inmediato y al profundizarse reflexivamente por una formalización más abstracta, el conocimiento lógico-matemático llega a anticipar del modo mejor las experimentaciones ulteriores hechas sobre lo real. No por ello resulta menor la paradoja en cuanto a la recíproca física de ese proceso lógico-matemático de desconcretización y de internalización: al alejarse de lo subjetivo por una externalización que los descentra cada vez más, los conceptos mecánicos obedecen mejor a las coordinaciones operatorias generales, que resultan, sin embargo, de la actividad efectiva del sujeto. No habría en ello ningún misterio si los entes lógico-matemáticos fueran extraídos de la experiencia y si el conocimiento físico sólo fuera a su vez "matemática aplicada". Aunque ambas tesis hayan sido defendidas, son tan superficiales tanto una como la otra, porque desdeñan el esfuerzo complementario de una abstracción, extraída, en un caso, de la acción del sujeto y no del objeto y, en el otro caso, de una experimentación realizada sobre el objeto como ente descentrado y comportándose de una manera imprevisible para el sujeto. El invento de la geometría riemaniana y el descubrimiento de Michelson y Morley son en ese sentido dos símbolos cuya oposición y armonía es difícil dejar de ver: el carácter no experimental de aquel invento es tan claro como el carácter imprevisible y por ende no deducible de antemano de este descubrimiento; y, no obstante, el primero se ha unido luego al experimento, mientras que el segundo se ha dejado integrar, una vez asimilado, en el marco de una deducción. Toda la paradoja de la física matemática reside en esa corres-

pondencia, que se vuelve a establecer en cada nueva etapa del desarrollo, entre las fases sucesivas de la internalización y las de la externalización. No basta, desde ese punto de vista, hablar de acuerdo entre la deducción y la experiencia, como cuando la deducción, aunque ya formal, se refería a evidencias intuitivas, y cuando el experimento, aunque ya sistemático, se realizaba con objetos accesibles a la acción directa del sujeto: desde el momento en que la deducción, que se torna axiomática, le da la espalda, por así decirlo, a la realidad, y en que el experimento, saliendo de nuestra escala de acción, sobrepasa el horizonte del sujeto, se trata entonces en verdad de dos actividades orientadas en sentido inverso, y es esta doble descentración a partir del fenomenismo y del egocentrismo, de la experimentación y de la deducción concretas luego, la que constituye el carácter sorprendente de la armonía actual entre el sujeto lógico-matemático y el objeto físico.

Tercera conclusión: aunque el contacto entre el sujeto y el objeto jamás se pierde, se presenta no obstante bajo tres formas distintas que corresponden a las etapas sucesivas de dicha descentración. La primera fase es la de una indiferenciación (de diversos grados) entre los datos exteriores, que son fenoménicos, y las ideas del sujeto que siguen siendo egocéntricas: por una parte, lo real queda así deformado en función del yo, proyectándose los elementos subjetivos y de finalidad, de esfuerzo, de tiempo vivido, etc., en las cosas; mas, por otra parte, los razonamientos del sujeto, vecinos todavía de la intuición sensible, no entrañan disociación alguna estricta entre las coordinaciones lógico-matemáticas y las acciones u operaciones físicas. Esa mezcla de elementos subjetivos y objetivos, deformados los unos en función de los otros, es la que caracteriza las fases de génesis, incluida esa sistematización de la cinemática y de la mecánica de sentido común, constituida por la física de Aristóteles. La segunda fase es la de un paralelo entre la deducción y el experimento y llega a su apogeo en la mecánica clásica: el experimento físico, conducido sistemáticamente y descentrado con respecto a los elementos egocéntricos, encuentra su instrumento de coordinación en una lógica y una matemática que se han vuelto operatorias y se han desprendido del fenomenismo: de aquí surge un paralelismo tan estrecho que la deducción prevé toda la experimentación, y ésta se integra por completo en aquélla tan bien que se ha podido concebir la mecánica racional, ya como un modelo a priori, ya como un modelo de perfecta adecuación empírica. Luego viene una tercera fase en la que el experimento sobrepasa nuestra escala de observación espacio-temporal y en que la deducción se libera de sus resultados intuitivos: esta última conquista sobre el egocentrismo de las escalas humanas y sobre el fenomenismo de las intuiciones iniciales se traduce entonces por una mayor externalización del objeto y por una internalización correlativa de los instrumentos lógico-matemáticos del sujeto, de tal modo que a la indiferenciación y al paralelismo característicos de las dos primeras fases les sucede una simple correspondencia entre los hechos experimentales y los esquemas internos: esta correspondencia, aunque incompleta, es tan precisa allí donde se produce que habría de preguntar si, por una inversión de los papeles, compa-

rable al cambio de espadas en *Hamlet*, el sujeto no llega acaso a reencontrar el objeto en las fuentes psicofisiológicas y orgánicas de su propio pensamiento, y si no vuelve a encontrarse a sí mismo en el objeto, a medida que va expulsando a éste al exterior de su yo...

Tal es el verdadero sentido del proceso esencial de la descentración. Descentrar la acción propia no implica simplemente añadir otras acciones al acto inicial y relacionarlas luego por un proceso de pura extensión acumulativa. Descentrar es invertir las relaciones mismas y construir un sistema de reciprocidades que es cualitativamente nuevo con respecto a la acción de partida. Implica pues desprender el objeto de la acción inmediata para situarlo en un sistema de relaciones entre las cosas, que correspondan término a término al sistema de operaciones virtuales que el sujeto podría efectuar sobre aquéllas desde todos los puntos de vista posibles y en reciprocidad con todos los otros sujetos. Por este motivo cada descentración constituye un doble progreso simultáneo en la construcción del objeto y en las coordinaciones operatorias del sujeto: descentrar la acción o el punto de vista propios no implica, pues, privarse simplemente de algunas relaciones incompletas, ni completarlas por una simple adición de relaciones nuevas, sino que implica invertir el sentido de la asimilación y renunciar a las perspectivas privilegiadas para construir, en función de esta misma conversión, un doble sistema objetivo y lógico. Descentrar significa "agrupar", y es gracias a las reciprocidades alcanzadas al abandonar el punto de vista necesariamente deformante y egocéntrico de partida, que se elaboran correlativamente las conexiones reales y la reversibilidad operatorias. Es por esta razón que el progreso intelectual no es lineal ni simplemente acumulativo, sino constructivo y reflexivo al mismo tiempo, porque surge de un doble movimiento de integración externa y de coordinación interna.

5

CONSERVACION Y ATOMISMO

El campo general de los conceptos cinemáticos y mecánicos no es el que con mayor exactitud permite estudiar el problema de las relaciones que la actividad lógico-matemática del sujeto mantiene con el objeto físico. Cierto es que el desarrollo de aquellos conceptos nos permite asistir a una descentración gradual del universo y a una coordinación correlativa de las estructuras físicas de conjunto; no obstante, las relaciones entre el sujeto y el objeto se concentran en determinados puntos privilegiados, que constituyen los invariantes de cada sistema. A este respecto, los principios de conservación plantean un problema capital, cuyo carácter paradójico se pone de manifiesto ya en su propio enunciado: si constituyen simultáneamente los absolutos de la realidad considerada y los invariantes operatorios del proceso deductivo que permite aprehender esa realidad, las diversas formas de conservación, ¿procederán acaso de la experiencia, de la propia deducción o de una elaboración que vincula los elementos reales con los racionales? En cada uno de estos tres casos subsiste el hecho de que la concordancia entre la mente y la realidad parece preestablecida. No porque el sujeto conozca de antemano lo que permanece invariable en el objeto, sino porque para poder pensar necesita admitir la existencia de invariantes, y porque por su parte el objeto parece exigir la posesión de tales invariantes como condición de su propia existencia. Por eso, E. Meyerson, cuya epistemología está centrada en los principios de conservación, los considera, según el caso, ya como la expresión más directa de la actividad de la razón, ya como la más auténtica prueba de la realidad del objeto. Es pues evidente que nos encontramos, en este terreno, ante puntos de contacto de particular importancia entre el sujeto y la realidad, y que conviene aprovechar al máximo, a este respecto, las posibilidades que brinda el modo de análisis propio de la epistemología genética.

Ahora bien, el problema no es solamente esencial en el campo de la epistemología física: su discusión echa luz también sobre las relaciones entre el pensamiento físico y el pensamiento lógico-matemático como tal. Existen, en efecto, principios de conservación específicamente lógicos o matemáticos, sin relación inmediata con los invariantes físicos: así, un conjunto o un número se conservan, independientemente de las operaciones

realizadas con sus elementos, y un grupo algebraico o geométrico posee propiedades que permanecen invariantes en el curso de las transformaciones. Mientras que tales formas de conservación conciernen únicamente a los procesos deductivos, las constancias físicas conciernen, en cambio, a propiedades del objeto que desbordan las estructuras formales lógico-matemáticas. El análisis de los principios físicos de conservación nos informa pues, no sólo acerca del funcionamiento del pensamiento físico, en cuanto unión entre la deducción y la experiencia, sino también acerca de sus relaciones con el pensamiento lógico-matemático, en cuanto pensamiento puramente deductivo. En las páginas que siguen será éste nuestro doble punto de vista.

El problema del atomismo lleva a parecidas consideraciones. Intimamente enlazado con ciertas formas de conservación, como la invariancia de la masa por ejemplo, la historia del atomismo lo ha mostrado esencialmente como un conjunto de procedimientos de composición. Ahora bien, sucede que esta composición admite, indudablemente, modelos matemáticos, bajo la forma de la composición discontinua de los números racionales o incluso de la reconstrucción del continuo espacial a partir de los puntos, y son suficientemente conocidas las interferencias históricas que se han producido entre estos diversos campos.

Pero hay más. Tanto el concepto de conservación como el de atomismo surgieron mucho antes de cualquier experimentación científica exacta. Por eso, además de presentar un interés particular en el terreno de la ciencia constituida, desde el doble punto de vista del mecanismo del pensamiento físico y de sus relaciones con el pensamiento lógico-matemático, tales construcciones ofrecen una ocasión muy favorable para el análisis simultáneamente histórico y genético. Los primeros "físicos" y matemáticos griegos descubrieron sucesivamente la permanencia de la sustancia, sus transformaciones por condensación y rarefacción, y por fin su composición atomística, al mismo tiempo que reconocían las propiedades de las figuras geométricas y las de los números. Esta correlación entre la invención física y la invención matemática, con la anticipación del atomismo, 25 siglos antes de cualquier confirmación en el laboratorio, plantea una serie de problemas históricos cuya solución sería de suma importancia. Así, G. Milhaud considera como primer atomista a Pitágoras, que identificaba los números con los elementos de las figuras del espacio real: es de imaginar el interés que adquiriría, desde ese punto de vista, un estudio detallado de las enseñanzas pitagóricas, si éste fuera posible. Ahora bien, si en cualquier campo el análisis histórico-crítico requiere como complemento una investigación psicogenética, la cuestión de las formas precientíficas de la conservación y del atomismo entraña a este respecto una respuesta precisa: el niño accede a ciertos conceptos de conservación y a cierto atomismo, en los mismos niveles en los que elabora sus estructuras lógicas y numéricas, así como sus primeros invariantes geométricos. En este terreno, no sólo es posible, por lo tanto, captar en su raíz la conexión intelectual de las operaciones físicas y de las coordinaciones lógico-matemáticas, sino también poner de manifiesto con exactitud apreciable el papel que los factores de experiencia y

los factores de deducción desempeñan en la formación de los conceptos de conservación, precisando en particular el mecanismo constante del modo de deducción utilizado.

En resumen, los diversos problemas epistemológicos que plantea la formación de los conceptos de conservación y de atomismo, tanto en el plano genético como en el del análisis del pensamiento científico, son interdependientes, porque el tipo de conexión entre la experiencia y las construcciones operatorias que intervienen en la elaboración de estas ideas es revelador de la relación general entre las acciones físicas y las coordinaciones lógico-matemáticas. Tal como más adelante comprobaremos, es la estructura matemática de grupo la que al coordinar aquellas transformaciones físicas, desemboca en la constitución de las distintas formas de conservación. Pero mientras que en las etapas superiores es posible disociar dicha forma matemática de su contenido experimental, en las fases iniciales, por el contrario, la forma y el contenido, es decir la coordinación y las acciones coordinadas, constituyen un todo único cuyas interdependencias son reveladoras en lo que se refiere a la naturaleza del pensamiento físico. En efecto, por un lado, antes de cualquier matematización explícita de la realidad material, la experiencia física por sí sola presupone ya una estructuración lógica de las acciones de las que procede: ahora bien, esta estructuración toma entonces la forma de "agrupamientos", es decir de composiciones reversibles cualitativas, aún no extensivas ni métricas. Vamos a tratar de mostrar que las primeras formas de conservación se desprenden de tales agrupamientos, antes de que éstos se transformen en grupos mediante la introducción de la cantidad matemática. Es pues la reversibilidad operatoria, y no la identificación, la que genera, ya en este plano lógico o prematemático, los primeros invariantes físicos. Por otra parte, al ser las estructuras de agrupamientos y de grupos, características de las coordinaciones operatorias del sujeto, es necesario admitir que la explicación física consiste en asimilar las transformaciones de lo real a las propias operaciones: pero esto no es cierto solamente para la identidad, sino también, y con igual validez, para la variación propiamente dicha, reestructurada en función de las transformaciones inherentes a toda composición lógico-matemática, y concebida como ligada por un vínculo necesario con los propios invariantes.

1. El objeto físico y las coordinaciones generales de la acción. De ser cierta la tesis precedente, no será el terreno de los conceptos superiores de conservación el que más facilite su demostración, porque las deducciones propias de la física matemática se referirán en ese caso a relaciones ya altamente elaboradas, de las que sólo el sistema de conjunto (es decir, la "teoría" considerada) es confrontado con la experiencia, para ser aceptado o rechazado en bloque. Se trata por el contrario de descubrir, en la zona de toma de contacto elemental entre la mente y la realidad, es decir en el proceso de formación de las nociones más simples, cómo procede la construcción correlativa de los invariantes y de las leyes de variación.

Existe, a este respecto, una primera forma de invariante físico, cuyo profundo parentesco con los conceptos de conservación elaborados por el

pensamiento científico ha sido subrayado con frecuencia por E. Meyerson: es el esquema del objeto permanente, que se constituye ya en el terreno de la acción sensoriomotriz previa a la representación conceptual. Este esquema del objeto, principio de solidificación del universo práctico y perceptual del sentido común y de la propia ciencia macroscópica, plantea por sí solo todos los problemas de los que tendremos que ocuparnos en relación con los invariantes más refinados. Por una parte, por más físico que sea el concepto del objeto exterior, sustrato sustancial de todas las cualidades percibidas en el mundo sensible y que el físico estudiará cuantitativamente una por una, su constitución implica de entrada la intervención de coordinaciones de tipo lógico-matemático, puesto que el objeto permanece idéntico a sí mismo, está localizado en el espacio, y, sobre todo, su elaboración se vincula muy estrechamente con la del grupo práctico de los desplazamientos invocados por H. Poincaré como raíz del propio espacio total. Por otra parte, por más ligado que esté a los mecanismos perceptivos, y primordialmente a las "constancias" del color, el tamaño y la forma, el objeto físico presupone sobre todo acciones, tales como la acción de reencontrar, y plantea así el problema de las relaciones entre la sensación y el acto, y por lo tanto entre la identificación directa y la composición operatoria (cuya reversibilidad y asociatividad prácticas intervienen precisamente en los retornos y los desvíos característicos del grupo de los desplazamientos empíricos). La formación del objeto permanente origina pues, de entrada, tanto el problema de las relaciones entre las acciones físicas y la coordinación lógico-matemática, como el del modo de constitución de los invariantes físicos.

Ahora bien, el gran interés de esta idea de objeto material, debido precisamente a su carácter elemental, reside en mostrar con total claridad que, por más que retrocedamos hacia los orígenes de las acciones e intuiciones físicas, éstas no se presentan nunca en forma independiente de las coordinaciones generales de la acción, es decir, de los orígenes de la coordinación lógico-matemática. No existen esquemas espaciales o esquemas de carácter lógico-numérico (equivalentes prácticos de la clase de relación o de cantidad numérica) por un lado, y por otro cualidades físicas o sensibles (color, resistencia, peso, etc.). Por el contrario, las acciones que llevan a individualizar estas cualidades físicas sólo son posibles, desde el principio, si se hallan vinculadas entre sí por un mínimo de coordinación que ya es de naturaleza lógico-matemática. Es cierto, por lo tanto, como quería E. Meyerson, que el análisis del concepto de objeto ofrece la clave para el análisis de los conceptos ulteriores de conservación, aunque tal vez en un sentido distinto del que suponía dicho autor.

Tomemos por ejemplo la cualidad física del color. Sabemos que el objeto es percibido según un color relativamente constante: una hoja de papel blanca sigue siendo blanca a la sombra, y un gris claro sigue siendo gris a plena luz. De tal manera, percibimos el *albedo*, o poder invariante de reflexión del objeto, y no la luz reflejada por él. Por lo demás, esta

propiedad perceptual es propia del objeto. Kardos [1] ha mostrado, en efecto, mediante un ingenioso experimento, que los colores de "fondo" no son constantes: así, una hoja de papel gris sólo conserva un color constante si se le ven los bordes; si, en cambio, éstos permanecen ocultos y percibimos la hoja gris a través de la abertura practicada en una pantalla (o sea en cuanto "fondo" neutro), este gris deja de ser constante al no poder ser atribuido a un objeto delimitable. Tales hechos, empero, lejos de apoyar una interpretación epistemológica del objeto basada en las "sensaciones" y en relaciones de simple identificación mutua, destacan por el contrario el papel de la acción y de las coordinaciones activas. Por una parte, Piéron [2] ha subrayado con exactitud el papel funcional de la percepción del *albedo*, que constituye un medio de individualización de los objetos, por oposición a la individualización de los colores: se trata pues de un procedimiento práctico con fines utilitarios, y, en este caso como en los demás, la percepción es un indicio al servicio de la acción, y no una toma de posesión de lo "dado" inmediato. Por otra parte, el mecanismo causal (es decir, el "cómo", por oposición al "por qué" funcional) de esta constancia de los colores debe ser buscado en regulaciones perceptuales que, sin llegar al nivel operatorio, anticipan sin embargo la operación e implican ya una coordinación elemental en la cual intervienen factores emparentados con la coordinación lógico-matemática. Hering atribuía esta constancia a regulaciones fisiológicas demasiado elementales (ajuste de la pupila a la iluminación y de la sensibilidad retiniana a la luz). Katz ha mostrado, en cambio, la existencia de una desproporción cuantitativa entre estos mecanismos y las cantidades de luz. Además, la explicación de Hering deja sin explicar la no constancia de los colores de "fondo". La teoría de la Gestalt ha invocado leyes de organización permanentes, pero la constancia de los colores evoluciona con la edad hasta aproximadamente los 10 a 11 años (Beyrl). Sólo queda pues admitir la intervención de las regulaciones activas (consistentes, por ejemplo, en desplazamientos virtuales del objeto, como sucede en el caso de la constancia de la forma, y en el establecimiento de relaciones entre su color y los del contorno).

Así pues, la propia percepción de los colores constantes del objeto está ligada a un sistema de acciones. En cuanto a la percepción del peso, es bien conocido el papel que en ella desempeñan las anticipaciones motrices: un objeto voluminoso, pero de poco peso, es percibido como menos pesado de lo que es en realidad, porque se prevé una proporcionalidad entre el peso y el volumen, y esta previsión errónea engendra una ilusión de contraste, etc. Pero, sobre todo, las constancias del tamaño y de la forma perceptiva del objeto, lejos de darse en función de leyes de organización puramente receptivas, evolucionan con la edad y reposan sobre un juego de regulaciones y de anticipaciones en el que intervienen elementos de acción (traslados perceptivomotores, etc.).[3] En resumen, el objeto

[1] L. Kardos: "Ding und Schatten". *Zeitschrift für Psychologie*. Leipzig, 1934, 23.
[2] H. Piéron: *Psychologie expérimentale*. Paris, Alcan.
[3] Véase en el vol. I, cap. II, § 4.

no es, en ninguna de sus propiedades perceptivas, producto de puras "sensaciones", fusionadas entre sí por identificaciones directas: ya desde la percepción de los objetos, intervienen acciones (específicamente físicas), así como coordinaciones reguladoras que implican el movimiento, el espacio y un sistema de comparaciones efectivas o virtuales, es decir, elementos lógico-matemáticos.

¿Cómo se explica, pues, la formación del esquema del objeto? y, ¿cuáles son, a su respecto, las relaciones entre la acción física, o sea, generadora de percepciones cualitativas especializadas, y la coordinación lógico-matemática, es decir, la coordinación general de las acciones? El problema está centrado en el carácter "sustancial" de este esquema. En efecto, el objeto no es solamente un haz de cualidades transformadas en constantes mediante las regulaciones motrices perceptuales: es, primordialmente, el sustrato de estas cualidades, es decir, una "sustancia" concebida como existente aun fuera de todo campo perceptual. Ahora bien, este carácter de sustancialidad se forma precisamente al mismo tiempo que las constancias perceptuales, y a su respecto se da la mayor evidencia del papel de las acciones [4] y de su coordinación: esta coordinación no es sino el "grupo" práctico de los desplazamientos, mientras que las acciones así coordinadas son precisamente las acciones adaptadas a las cualidades físicas de color, peso, etc., características de cada objeto particular.

Hemos recordado, a propósito de la génesis del espacio (vol. I, cap. II, § 5), cómo H. Poincaré atribuía la distinción entre las relaciones geométricas y las relaciones físicas a una oposición, a la que consideraba elemental, entre cambios de posición y cambios de estado: los primeros, al poder ser anulados por desplazamientos correlativos del propio cuerpo, son efectivamente reversibles, mientras que los segundos permanecen irreversibles al no poder ser modificados por los movimientos de nuestros miembros y de nuestros órganos sensoriales. De ser cierta esta tesis, tan sugerente en su sencillez, resolvería por sí sola, ya desde las fases primitivas, todos los problemas que nos hemos planteado: los cambios de posición, al interesar simultáneamente a los movimientos del objeto y a los del sujeto, constituirían a la vez el espacio físico de los objetos exteriores y el espacio geométrico de las coordinaciones de la propia acción, siendo este último una condición necesaria para la construcción del primero. Por otra parte, de no producirse ningún cambio de estado, la permanencia del objeto se debería a su situación de invariante del grupo de los desplazamientos exteriores o físicos. Por el contrario, en función de los cambios de estado, variaría en espera del reconocimiento de nuevos variantes de peso, de masa, etc., en el seno de estos mismos cambios, (y de que estos últimos terminaran por reducirse a su vez a simples movimientos, aunque de escala inferior).

Pero es psicológicamente inexacto que los cambios de posición se diferencien de los cambios de estado en virtud de una distinción primera,

[4] Véase *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. I. Véase nota 4 cap. anterior.

presente ya desde las percepciones y los movimientos más elementales. En realidad, la tesis de Poincaré presupone el concepto de objeto y no explica su constitución: distinguir un cambio de posición de un cambio de estado, llegando a anular el primero por un desplazamiento correlativo del propio cuerpo es, en efecto, declararse simultáneamente capaz de asegurar la identidad del móvil exterior y de diferenciar su movimiento de los del propio cuerpo. Supongamos un sujeto que vuelve a encontrar constantemente un objeto en movimiento o que no lo pierde de vista, aunque no tiene conciencia de desplazar su mirada, ni le atribuye a este objeto el valor de un móvil que se mueve en relación con otros: en ese caso, este sujeto percibiría todo el fondo, sobre el que se destaca el móvil, como en transformación, y según el modo de los cambios de estados. En realidad, el bebé es al principio incapaz de distinguir sus propios movimientos de los movimientos de los objetos, de relacionar el movimiento de un objeto con un sistema de referencia fijo, y de asegurar al móvil su identidad. De esa manera, todo cambio de posición se le presenta, al principio, como un cambio de estado, y el problema se plantea en los términos siguientes, muy distintos de los de Poincaré: ¿cómo se construirán, simultáneamente, la permanencia del objeto móvil, el grupo de sus desplazamientos físicos y el grupo de los desplazamientos propios?

A este respecto, el gran interés epistemológico que encierra la construcción del objeto, reside en mostrar la íntima unión de las acciones particulares, fuente del conocimiento físico y de sus coordinaciones, fuente del conocimiento lógico-matemático. Por una parte, la criatura ejerce una serie de actividades sobre las cosas, que le permiten descubrir y diferenciar sus cualidades perceptuales: las sigue con la mirada, las escucha tratando de vincular los sonidos con las imágenes visuales, las palpa, las frota, las sacude, las levanta, etc. Y sólo en relación con estas actividades se organizan los distintos elementos perceptuales: resistencia, dureza o elasticidad, peso, color y sonido, etc. Pero estas percepciones de las propiedades físicas distan de ser suficientes para constituir por sí solas un esquema de sustancia o de cuerpo, es decir, de objeto permanente. Por otra parte, estas acciones sólo pueden realizarse coordinándose entre sí: no sólo ocurre que una imagen visual, sonora, táctil, etc., puede ser percibida únicamente en función de otras imágenes del mismo carácter, simultáneas o previas —lo que equivale a afirmar la dependencia de cada acción respecto de las anteriores—, sino que, además, los distintos campos están coordinados entre sí mediante coordinaciones entre los propios esquemas de acciones (así, la audición es rápidamente vinculada con la visión, ésta se coordina con la prensión hacia los 4/5 meses, etc.). Ahora bien, estas coordinaciones que, como es esencial comprender, no son "asociaciones" entre "sensaciones", sino asimilaciones o integraciones de las propias acciones unas en otras (por ejemplo, tomar lo que se mira, o mirar lo que se toma, etc.), constituyen precisamente el punto de partida de las estructuraciones espaciales y del esquematismo del que procederán las clases, las relaciones y los números: así, a los espacios heterogéneos del comienzo (bucal, táctil, visual, so-

nero, etc.), seguirán, gracias a la coordinación de las acciones, espacios que incluyen varios campos perceptuales y motores a la vez. Por otra parte, la coordinación de los movimientos sucesivos, algunos de los cuales constituyen medios, mientras que otros llegan a las metas perceptuales deseadas, representan el punto de partida para el establecimiento de relaciones, es decir, para las estructuras lógicas y prenuméricas (vol. I, cap. III, § 7).

Resumiendo, desde que se inicia la actividad sensoriomotriz, las acciones particulares, que dan lugar a los primeros conocimientos físicos, implican una coordinación mutua, y esta coordinación constituye la primera forma de lo que habrán de ser las vinculaciones lógico-matemáticas, espaciales en particular. Inversamente, no podría existir, en el plano de la acción, ninguna coordinación general sin acciones particulares que coordinar. Existe pues, desde el comienzo, unión de lo físico con lo lógico-matemático, no en forma de dos realidades, independientes en un principio, que entran en contacto, sino en forma de dos aspectos a la vez indisociables e irreductibles, de la misma totalidad activa. Y es precisamente esta conexión sui géneris la que explica la formación del esquema de los objetos permanentes: en la exacta medida en que las acciones particulares ejercidas sobre las cosas son coordinadas entre sí, estas coordinaciones propias del sujeto, que actúan sobre la realidad, van a engendrar, efectivamente, el grupo práctico de los desplazamientos, el invariante de grupo que representa el objeto permanente, y las regulaciones que permitirán atribuir a este objeto determinadas cualidades perceptuales convertidas así en constantes (en el sentido de constancias de color, de tamaño, etc.).

La mejor prueba de la estrecha solidaridad entre los cuatro procesos de coordinación de las propias acciones, de agrupamiento de los desplazamientos externos, de constitución del objeto sustancial, y de regulación de las constancias perceptuales, está en el hecho de que pueden seguirse paso a paso sus progresos correlativos, en función de la descentración gradual de las acciones del sujeto (en cuanto al paso del egocentrismo a la coordinación que incorpora recíprocamente al cuerpo propio dentro del sistema construido: vol. I, cap. III). Al principio no existen conductas en relación con los objetos desaparecidos, ni, por lo tanto, objetos permanentes: por ejemplo, aun después que el bebé haya aprendido a tomar lo que ve, sucederá durante un largo período que, si se cubre con un paño el objeto hacia el que ya dirigía la mano, la retirará (por más que sepa perfectamente retirar un paño colocado sobre su rostro). Todo sucede como si el objeto, al dejar de ser visible, se resorbiera en el paño, es decir, como si los cambios de posición fueran concebidos como cambios de estados. Es cierto que, a veces, después de haber interrumpido una acción comenzada, el sujeto la reinicia, y espera así volver a hallar los objetos en su sitio; pero este principio de permanencia está precisamente ligado a la continuación de la propia acción, y aún no a transformaciones impuestas desde el exterior. Más adelante el niño llegará (hacia los 8 a 10 meses), a buscar el objeto desaparecido detrás de las pantallas, pero, cosa sumamente interesante, sin tomar en cuenta aún la continuidad de los desplazamientos: por ejemplo, habiendo encontrado un objeto bajo una pantalla A, a su izquierda,

la criatura, al ver cómo el objeto es colocado a su derecha bajo una pantalla B, ¡volverá de inmediato a buscarlo bajo A! Esta curiosa reacción es doblemente instructiva: en primer término, muestra que el objeto no está aún individualizado, sino que está integrado en el contexto de conjunto de una acción lograda (el objeto X y la pantalla A forman así una especie de totalidad indivisa, similar a cuando se buscan los lentes en un estuche después de haberlos extraído de él); en segundo lugar, muestra que los desplazamientos sucesivos del móvil no están aún "agrupados", sino que permanecen centrados en función de la acción propia. Finalmente, la creciente coordinación de las acciones tiene por efecto agrupar los desplazamientos en sistemas reversibles (retorno) y asociativos (desvíos) de conjunto, tales que el sujeto, en vez de relacionar con su posición y su acción los distintos movimientos de los móviles, se coloca, por el contrario, él mismo, como elemento de este todo perceptivo y motor: entonces, y sólo entonces, el objeto se desprende de la acción inmediata, para hacerse sustancia permanente, es decir, un invariante susceptible de ser reencontrado en función simultánea de sus desplazamientos y de los movimientos del propio cuerpo; de donde se originan, a la vez, las regulaciones perceptuales ligadas a los desplazamientos virtuales y que aseguran las constancias cualitativas de este invariante substancial, mediante una estabilización correlativa del sustrato y de sus cualidades.

De tal manera, la construcción del objeto permanente, primera forma de conservación material, muestra cómo se presenta, desde el principio, la necesaria unión entre las acciones especializadas, fuentes de conocimiento físico, y las coordinaciones generales de la acción, fuentes de conocimiento lógico-matemático. ¿En qué se diferencian acciones tales como emplazar o desplazar, reunir o disociar, ordenar, sustituir, etc., de otras como pesar, empujar, mirar un color, localizar un sonido, o incluso reencontrar el objetivo particular que se busca? En primer término, aquéllas (tal como lo hemos visto en el volumen I), al ser adquiridas tanto mediante el ejercicio como mediante la maduración, no toman sus características de los objetos: resultan de experiencias que el sujeto realiza con sus propios movimientos, por medio de objetos cualesquiera, y conducen así a estructurar tanto las acciones propias como los datos exteriores. Por tal razón, estas acciones, las más generales, en vez de abstraer su estructura del objeto, equivalen a agregar por el contrario al objeto caracteres surgidos de la actividad del sujeto, y podrán algún día ser ejecutadas de un modo reflexivo y "abstracto" sin necesidad de aplicación alguna a objetos reales. Por el contrario, las acciones de empujar, o de pesar, etc., aun constituyendo también actos (igualmente relativos por lo tanto al sujeto), culminan en una acomodación a ciertos caracteres particulares del objeto (su masa, su peso, etc.) e implican en consecuencia una experiencia referida al objeto, así como una abstracción a partir del objeto. Pero además, y sobre todo, y ésta es la diferencia que aquí nos interesa, las primeras de estas acciones intervienen necesariamente en el seno de las segundas, mientras que no es verdad la recíproca: para poder empujar un objeto, sopesarlo,

evaluar su color, localizar el sonido que produce, encontrarlo después de escondido, etc., etc., hay que coordinar movimientos, asimilar estas acciones a esquemas anteriores, seriar los elementos de la conducta, reunir algunos de ellos y disociar otros, etc. En otras palabras, desde la más elemental acción sensoriomotriz, se hacen necesarias una lógica y una geometría para captar las cualidades físicas, mientras que, por más que la coordinación general de las acciones presuponga la existencia de acciones particulares que es necesario coordinar, éstas pueden ser cualesquiera y no intervienen por su especificidad en el mecanismo de la coordinación.

Sería, pues, falso decir que el objeto permanente debe su invariancia a la aplicación de esquemas lógicos (identidad) o matemáticos (grupo de los desplazamientos), a datos físicos previos o, incluso, a una inserción de los datos físicos en esquemas lógico-matemáticos previos: las acciones físicas, al proporcionar el conocimiento de las cualidades del objeto, son las que, en virtud de su propia coordinación, atribuyen estas cualidades a un sustrato dotado de conservación; y esta coordinación, que se inicia junto con tales acciones especializadas, es la que constituye la raíz de los esquemas lógico-matemáticos mencionados. ¿En qué consiste entonces la coordinación específica de la construcción del esquema del objeto sustancial? No podría tratarse sólo de identificación, puesto que el concepto de objeto surge relativamente tarde y su constitución sólo queda terminada con el cierre del grupo de los desplazamientos prácticos. La reversibilidad, en cambio, que es propia de esta organización de los desplazamientos, sí explica la invariancia del objeto: las acciones de reencontrar se vuelven constitutivas de un esquema de sustancia, desde el momento en que se organizan en relación con el grupo cualitativo de los movimientos del sujeto, y es en función de este grupo práctico que los desplazamientos exteriores del móvil son agrupados con la finalidad de otorgar a dicho móvil la cualidad de poder ser encontrado de nuevo.[5] Las cualidades perceptuales de color, tamaño, forma, etc., logran, por su parte, gracias al mismo proceso, una estructura que, si no es completamente reversible (ya que la percepción no alcanza nunca a este respecto el nivel de la motricidad), está al menos estabilizada por regulaciones que tienden hacia la reversibilidad propia de los movimientos. En conclusión, el objeto permanente resulta de una solidificación de las cualidades físicas inherentes al modo de composición reversible de las acciones que las diferencian, y queda así inserto como invariante en los sistemas de las transformaciones percibidas en la realidad, por correspondencia con la coordinación de las acciones del sujeto.

2. Las formas representativas elementales de la conservación. Las dos enseñanzas que pueden extraerse de la formación del esquema del objeto permanente son, pues, la íntima conexión de las coordinaciones lógico-matemáticas con las acciones físicas, y el carácter correlativo de la solidi-

[5] Como lo dijera tan bien Bachelard (*L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*), el realismo es ante todo una doctrina de la localización: es lo que se percibe aquí desde el plano sensoriomotor de la acción.

ficación de lo real con la descentración de las acciones del sujeto. Pero, aunque estas cosas están ya claras en el plano sensoriomotor, es obvio que sólo un análisis de las formas representativas de conservación permitirá entrar en detalle, y sobre todo reconocer con alguna precisión las partes correspondientes a la identificación y a la reversibilidad operatoria en la constitución de los invariantes.

Así pues, cuando se inicia el pensamiento con el lenguaje y la imagen mental, el esquema del objeto sustancial práctico, u objeto de acción, está ya terminado, al menos en lo que concierne al espacio cercano. Pero esto no significa que dicho esquema sea generalizado de inmediato, por la naciente representación, a todas las situaciones que sobrepasan esta utilización del contorno espacial del sujeto. Es necesario, en particular, distinguir dos situaciones en las que va a ser necesaria una nueva construcción, análoga a la del objeto práctico; y sólo cuando estas construcciones queden terminadas podrá hablarse de sustancia física en el sentido general del término, es decir, susceptible de una especie de conservación elemental de la materia. La primera de estas situaciones es la de los objetos lejanos (en el tiempo y en el espacio), y la segunda es la de los objetos compuestos, formados por partes más o menos móviles unas respecto de otras. La segunda situación sólo puede estudiarse experimentalmente, en el niño, mientras que la primera puede ser analizada mediante simple observación, tanto en el niño como en el "primitivo".

En lo que se refiere a los objetos lejanos, es fácil establecer que el niño de dos a cuatro años no atribuye aún en sus paseos una forma constante a las montañas: éstas crecen y se achican, algunas aristas se resorben y luego resurgen, etc., como los objetos manipulados por la criatura hacia los cinco a ocho meses (ésta succionará, por ejemplo, una mamadera por el revés, al no haber comprendido, en el curso de una visible rotación previa, que el chupete ha pasado al otro lado). De la misma manera, el sujeto no está seguro de la identidad de la luna, de algunos animales, de ciertos personajes, que son a la vez uno y varios, y cuyas diversas manifestaciones "participan" unas de otras, a medio camino entre lo genérico y lo individual.[6] Es a este tipo de "preconcepto". intermedio entre lo general y lo singular, al que hay que referir sin duda el aspecto lógico de las "participaciones" que L. Lévy-Bruhl ha descripto en los primitivos; pero en éstos, la participación adquiere un aspecto colectivo y místico.

Desde el punto de vista físico, es más interesante el problema del objeto compuesto, ya que permite analizar el propio mecanismo de formación de los esquemas de conservación. Sea, por ejemplo, una bolita de plastilina, que se puede estirar como un panecillo, aplastar como una

[6] Para el detalle de estos hechos véase *La formation du symbole chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. IX, § 5. [Hay versión castellana: *La formación del símbolo en el niño*. México, Fondo de Cultura Económica, 1962.]

galleta, etc., o desmenuzar en trozos diversos. La cuestión que se le plantea al sujeto es decidir si el objeto así transformado (o el conjunto de sus fragmentos) contendrá la misma cantidad de materia que la bolita inicial (o el mismo peso, etc., pero limitémonos por ahora sólo a la conservación de la materia). Se ve de entrada que este problema es la prolongación lógica del de la permanencia del objeto práctico mismo, aunque con la complicación de que se refiere ya no meramente a la conservación del objeto total, sino a la de sus partes, se encuentren éstas fraccionadas o continuas y sólo sean desplazadas unas con respecto a otras, con modificación de la forma del conjunto. También se ve de inmediato que, aunque la permanencia del objeto práctico puede ser construida por la acción efectiva, la conservación de la bolita en cuanto objeto compuesto no puede quedar asegurada más que por el pensamiento, es decir, por intuiciones que internalicen las acciones, o por operaciones propiamente dichas.

El problema reside entonces en establecer si la conservación surge desde los orígenes intuitivos del pensamiento, y por lo tanto desde que la representación puede sobrepasar la acción inmediata, o si, por el contrario, en el plano de las acciones mentalizadas o internalizadas, la conservación supone, como en el plano de la acción sensoriomotriz, un sistema de composiciones reversibles (lo que, en el pensamiento, equivale a un juego de operaciones reguladas y no sólo de intuiciones representativas). Se conoce ampliamente de qué manera E. Meyerson ha pretendido explicar los conceptos de conservación por un acuerdo entre la experiencia y una anticipación de la razón, que se manifestaría por una exigencia de identificación. Si tal fuera el caso, podría esperarse que los conceptos de conservación más elementales, como la invariancia de la cantidad de materia, en el curso de las variaciones de forma del objeto compuesto, se constituyeran en cuanto la experiencia brindara al pensamiento los elementos de una posible identificación, o sea desde los comienzos de la representación intuitiva.

Ahora bien, así como el concepto de objeto permanente es el resultado, en el plano sensoriomotor, de la composición reversible de los desplazamientos organizados en un grupo práctico, y no de una simple identificación que entrara en actividad a partir de la percepción de las sucesivas manifestaciones del objeto, así también la conservación de la materia en el momento de las deformaciones o del seccionamiento de la bolita de barro es el producto de un agrupamiento operatorio, primero simplemente cualitativo (en sentido intensivo y no matemático), y no de una identificación directa. Es más, resulta fácil establecer que ésta, cuando aparece, constituye el resultado y no el motor del sistema de las operaciones mencionadas, cuyo principio es la composición reversible y no la mera identidad.

En efecto, durante todo el período de intuición preoperatoria, es decir, hasta los siete u ocho años en promedio, el panecillo presenta, para el niño, menos materia que la bola de la que procede, porque se ha afinado; o, por el contrario, presenta mayor cantidad de materia porque se ha alargado. Asimismo, la bolita desmenuzada pierde materia porque

está en pedazos, o la adquiere porque el número de unidades aumenta (¡reacciones parecidas se dan ante una tableta de chocolate fraccionada!). Es decir que las respuestas varían de contenido, pero su principio permanece constante: la cantidad de materia ha variado.[7] Lo mismo sucede cuando se trata de líquidos transvasados de un recipiente a otro: todo cambio de forma de los recipientes implica una no conservación de la cantidad de líquido para beber.[8] Sin embargo, ya se trate de estos líquidos o de la cantidad de barro para modelar, cada sujeto sabe perfectamente que nada se ha quitado ni agregado durante el cambio de forma, puesto que él mismo se encarga de la transformación o del trasiego; pero esta posible identificación lo deja indiferente en presencia de las modificaciones perceptuales, a las que centra en una o otra de las relaciones en cuestión sin efectuar una composición completa de las relaciones.

Por el contrario, en la etapa de las operaciones concretas (siete a ocho años), la conservación siempre es afirmada, después de una etapa intermedia en la que sólo es presupuesta (aunque sin certeza) para las transformaciones pequeñas, y rechazada para las grandes. Ahora bien, lo que es de sumo interés y que indica de inmediato la intervención de la deducción, es que esta invariancia de la cantidad de materia, al ser generalizada a todas las transformaciones de la bolita o del líquido, es también sentida como necesaria y evidente; pero, tal necesidad y tal evidencia se imponen de esta manera al término de la evolución considerada, ¡y no en sus comienzos! ¿Qué ha sucedido, pues, entre la no conservación propia de la intuición y esta conservación necesaria, y cuál es el mecanismo de las operaciones que actúan en la constitución de semejante invariante, físico y deductivo a la vez?

A esta altura, conviene analizar más de cerca los términos del problema y desconfiar de todas las fórmulas corrientes, porque éstas se basan en el análisis de invariantes de nivel muy superior, en cuya estructura es relativamente fácil —y por ello peligrosamente tentador— separar, por un lado, una forma matemática (grupo, etc.) o lógica (identidad, etc.), y por otro, un contenido experimental o físico. Ahora bien, en el caso del que nos estamos ocupando, se trata de una forma de conservación que ya presenta el doble aspecto típico de todos los invariantes ulteriores, es decir, un contenido material ligado a la experiencia y una forma deductiva sentida como necesaria o racionalmente evidente, ¡por más que se constituya en un nivel mental en que aún no existe ni cálculo matemático ni lógica formal! Nos encontramos pues en presencia de un sistema operatorio particularmente elemental y fácil de analizar, situado no obstante en la fuente misma del pensamiento físico: en efecto, sin necesidad de una previa definición precisa de la masa, la conservación de la materia es sin

[7] Piaget e Inhelder: *Le développement des quantités chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. I.

[8] Piaget y Szeminska: *La genèse du nombre chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. I. [Hay versión castellana: *La génesis del número en el niño*. Madrid, Guadalupe, 1967.]

duda tan indispensable a cualquier razonamiento macrofísico como lo es la conservación de los conjuntos o de los números para el razonamiento matemático.

Ahora bien, tanto en el caso de este primer invariante, propio del pensamiento representativo, como en el del invariante sensoriomotor constituido por el objeto práctico permanente, el contenido experimental y la forma lógico-matemática se organizan simultáneamente y no por "aplicación" de ésta en aquél, y se organizan según un esquema de composición reversible, y no por simple identificación de lo diverso. En otras palabras, nos encontramos nuevamente ante una coordinación de acciones; éstas constituyen el contenido físico o experimental de la estructura, mientras que su coordinación constituye la forma lógico-matemática de dicha estructura. Pero esta coordinación, a diferencia del esquema sensoriomotor del objeto permanente, tiende a internalizarse en esquemas reflexivos, mientras que las acciones coordinadas se externalizan en acomodaciones experimentales (anticipaciones, etc.). Existe pues progreso en la internalización y la externalización complementarias de las operaciones (véase cap. IV), pero este doble proceso se arraiga en un juego de coordinación de acciones como en el caso del objeto permanente. No obstante, como tales coordinaciones no podrían constituirse si no hubiera acciones particulares que coordinar, y como éstas no podrían sucederse unas a otras sin coordinaciones, el aspecto lógico-matemático o deductivo del invariante en cuestión y su aspecto físico o experimental son indisociables, aunque irreductibles entre sí.

Observemos, ante todo, que la experiencia no puede, por sí sola, informar al niño sobre la conservación de la cantidad de materia. Por una parte, el sujeto no busca ningún control experimental de sus afirmaciones ni procede a medición alguna, ni durante la etapa en que niega la conservación ni a partir del momento en que la afirma. Por otra parte, no se sabe qué podría medir, puesto que no se expresa en términos de peso o de volumen (invariantes de constitución muy posterior), sino en términos de sustancia, es decir, de un concepto carente de caracteres definidos y que sólo tiene todavía un lejano parentesco con los demás aspectos de la masa. Así pues, la experiencia no podrá fundamentar la conservación, por más que coincida con ésta.

Veamos entonces los motivos realmente invocados por los sujetos. Se presentan tres tipos diferentes, que son por cierto comunes a todas las formas espontáneas de conservación, pero cuyos respectivos papeles son diferentes y fáciles de caracterizar.

El primer argumento se basa en la identidad: nada ha sido quitado ni agregado, dice el niño, por lo tanto la materia se ha conservado a pesar de los cambios de forma o de los fraccionamientos. Esta es pues la identidad meyersoniana en su estado más puro e ingenuo, pero no constituye el móvil verdadero del razonamiento, porque su repentina aparición plantea, como se ve de inmediato, un problema que la identificación por sí sola no podría resolver: ¿por qué razón surge este juicio de identidad sólo a una determinada edad, y a veces de repente, cuando los sujetos más jóvenes ya tenían en realidad el mismo conocimiento de que nada había

sido quitado ni añadido? ¿Cómo explicarse que, en los pequeños, la no conservación sea admitda *a pesar de* la identidad reconocida de los datos, y que hacia los siete u ocho años la conservación sea afirmada *en razón de* esta identidad? La causa reside con seguridad en que algo más interviene, y en que la identificación debe ser entonces concebida como un resultado o como una parte del proceso operatorio de conjunto (como producto de las operaciones directas e inversas) y no como el motor mismo del razonamiento.

El segundo argumento aducido por los sujetos es mucho más revelador de la naturaleza de este proceso de conjunto: se trata de la reversibilidad de las acciones efectuadas. "Usted ha alargado (o si no, he alargado) la bolita: podemos por lo tanto volverla a dejar como estaba antes", dice el sujeto. O también: "¡ Usted la ha partido: sólo hace falta volver a pegar los pedazos!" Ahora este llamado a la reversibilidad nos enseña dos cosas. En primer término, se refiere a acciones reales y físicas, que han sido ejecutadas sobre el objeto: estirarlo, aplastarlo, hacer con él una pelota, cortarlo, etc... Observemos, a este respecto, que el argumento basado en la identidad también se expresaba en términos de acción: nada ha sido "quitado" ni "agregado". Pero se trataba de acciones no realizadas, lo que muestra que la identidad aludida se refería a la llamada "operación idéntica" en lenguaje de grupo, es decir precisamente a operaciones o acciones nulas. Por el contrario, en el caso de la reversibilidad, el sujeto se refiere a acciones efectivas, pero que se desarrollan en sentido directo (+) o inverso (—). Ahora bien, son precisamente estas acciones, en cuanto acciones propiamente dichas, las que brindan al sujeto el conocimiento de lo que él llama materia: la sustancia es lo que puede ser agregado, quitado, modificado en su forma, seccionado o unido en un todo, etc., y su conservación se traduce igualmente por una acción, que consiste en reencontrar, es decir en localizar, etc. (en cuanto a las propiedades de la materia, su resistencia, su peso, etc., también se relacionan naturalmente con las acciones de apretar, levantar o sopesar, etc., por más que su solidificación en invariantes no se efectúe sino más tarde, ya veremos más adelante por qué razón). Pero, en segundo término, el hecho de recurrir a la reversibilidad muestra que las acciones aludidas, no permanecen relativamente no coordinadas, como en la etapa preoperatoria (decimos relativamente, porque están ya en parte ligadas entre sí gracias a las regulaciones intuitivas de las que volveremos a hablar), sino que en adelante son coordinadas según el modelo de los agrupamientos de operaciones, que comprenden operaciones directas, inversas, nulas, y la posibilidad de componerlas a todas entre sí de manera asociativa. Y ocurre que de inmediato puede verse que esta composición reversible y asociativa no está agregada desde el exterior a las acciones físicas precedentes, sino que constituye la coordinación interna progresiva de dichas acciones, sin intervención externa de relaciones matemáticas o de la lógica formal.

El tercer argumento aducido por los sujetos parece por el contrario recurrir a dichas relaciones: el niño dirá que el panecillo ha ganado en longitud, con respecto a la bolita inicial, lo que ha perdido en ancho, y que

la cantidad ha permanecido por lo tanto igual; o dirá, también, que fraccionándolo cada vez más, el objeto gana en cantidad de trozos lo que éstos pierden en tamaño, etc. Dicho de otra manera: el objeto total está formado por un conjunto de partes (adición partitiva) o de relaciones (multiplicación lógica de las relaciones) y cualquier deformación o seccionamiento deja invariante la totalidad en virtud del agrupamiento de estas partes o de estas relaciones: en efecto, este agrupamiento permite poner en evidencia las compensaciones que se establecen necesariamente entre modificaciones de sentido inverso. Claro es que este tercer tipo de argumentación no hace más que continuar el segundo: el conocimiento de las relaciones y de las partes no es en este caso el resultado de una mera lectura perceptiva, ya que de serlo, el sujeto no llegaría, por falta de mediciones, a considerar necesaria la compensación de sus respectivas transformaciones; dicho conocimiento surge directamente de las acciones de deformación (estiramiento, etc.) y de seccionamiento. La única diferencia entre esta tercera argumentación y la segunda consiste en que la tercera se apoya en la composición reversible del resultado de las acciones, y la segunda en la composición de las propias acciones. Pero en ambos casos se trata de composiciones reversibles que coordinan las acciones, sea en su totalidad, sea en el detalle de sus efectos, y sólo la coordinación de las acciones mismas asegura la de estos efectos. Esta tercera argumentación marca, sin embargo, un progreso sobre la anterior, en el sentido de la externalización y de la internalización complementarias de la actividad del sujeto: componer las relaciones construidas por la acción y ya no las acciones globales en sí, equivale en efecto, por una parte, a engendrar la posibilidad de medir las modificaciones exteriores y, por otra parte, a elaborar reflexivamente el agrupamiento de las operaciones en sí, de una manera más general que en el caso de las meras acciones globales.

Queda claro, pues, en qué consiste, en este caso, el proceso formador de la conservación. De ninguna manera está ausente de él la identidad, ni es ésta despreciable, pero constituye sólo un aspecto de la construcción de conjunto: es el producto y no la fuente de la reversibilidad, porque la operación idéntica resulta de la composición entre las operaciones directas y sus inversas, es cierto, pero en el seno del sistema operatorio total. Se comprende pues, ahora, por qué el argumento de la identificación (el primero de los tres encarados) sólo aparece en una etapa determinada, hacia los siete u ocho años, y no resulta convincente para la mente del sujeto en las etapas anteriores: sucede que es solidario de los otros dos y que la composición reversible y asociativa no podría constituirse más que en forma progresiva, en cuanto expresión de las coordinaciones sucesivas de la acción, de sus retornos y desvíos, así como de las articulaciones correlativas del pensamiento intuitivo. Hasta aquí, las coordinaciones sólo consistían en regulaciones: la corrección de una estimación (por ejemplo, que el panecillo aumenta de peso al alargarse) sólo está asegurada por su propia exageración (porque al seguir alargándose, el pan se hace demasiado fino y parece entonces más liviano, etc.). Estas compensaciones, al asegurar así composiciones parciales, desembocan en la reversibilidad a medida que

las compensaciones se hacen más completas: el agrupamiento operatorio constituye pues un término, o una forma final de equilibrio, que va acompañada por la necesidad deductiva en cuanto queda obtenido el equilibrio (es decir, cuando la reversibilidad, indicio de todo equilibrio, es entera), pero no antes de esta especie de cierre móvil del conjunto de las articulaciones activas e intuitivas que la preparan.

Desde el punto de vista de las relaciones entre la coordinación lógico-matemática (es decir, el agrupamiento de las operaciones o de las relaciones por ellas engendradas) y el contenido físico o experimental (es decir, las acciones particulares respecto del objeto, y que sólo el agrupamiento transforma en operaciones), es pues igualmente claro, tanto en el caso de este primer invariante representativo, como en el del objeto sensoriomotor permanente, que estos dos tipos de elementos son indisociables: por una parte, no podrían existir coordinaciones sin acciones que coordinar; por otra parte, en cuanto a éstas, nunca se dan en estado aislado, sino que están desde el comienzo vinculadas por coordinaciones susceptibles de regulaciones diversas, cuyo equilibrio progresivo lleva a la composición reversible. Ahora bien, durante este progreso estructural de la coordinación las acciones se transforman también, y recíprocamente, en una organización estrechamente correlativa de la forma y del contenido.

Así pues, tanto en los comienzos del pensamiento como en el plano de la acción, el conocimiento físico presenta un carácter que importa analizar, puesto que gobierna la interpretación epistemológica de las etapas ulteriores, en las que lo lógico-matemático se diferencia de lo experimental: la experiencia y su forma deductiva son estructuradas simultáneamente por una y la misma organización de conjunto de la acción. En el caso particular, los agrupamientos operatorios que están en juego consisten en adiciones lógicas de partes y en multiplicaciones lógicas de relaciones (sin que intervenga desde el principio ninguna cuantificación matemática): podría, por lo tanto, suponerse que son los agrupamientos lógicos correspondientes, aplicados a clases y relaciones cualesquiera, o los agrupamientos infralógicos de orden espacial (vol. 1, cap. II, § 7), los que, en tanto formas previas, vienen a aplicarse al problema físico de la conservación de la materia, y esto puede parecer tanto más verosímil, cuanto que estos agrupamientos lógicos o infralógicos (espaciales) dan lugar, por su parte, a invariantes isomorfos del de la conservación de la cantidad de materia (conservación de los conjuntos como totalidades, de las correspondencias, etc., en vol. I, cap. I, §§ 3-6, o conservación de las magnitudes geométricas: cap. II, § 7). No obstante, semejante interpretación sería errónea, porque de ninguna manera hay "aplicación" de agrupamientos anteriores, lógicos o infralógicos, al problema nuevo de la conservación física de la materia. Lo que sí se da, es la organización paralela y convergente de las acciones que operan sobre los conjuntos de objetos discontinuos (clases y relaciones), sobre las propiedades espaciales del objeto y sus propiedades físicas. Más adelante, al ser relacionadas reflexivamente todas estas estructuras, quedará constituida la lógica formal. Y no cabe duda de que la coordinación de las acciones físicas, que genera el invariante de cantidad

de materia, es una coordinación lógica (que luego será matematizada): pero no es el resultado de la aplicación de otras coordinaciones lógicas, sino que constituye simplemente una estructuración paralela a la de otros campos.

La mejor prueba de este carácter, lógico ya, pero aún no formalizado (que por lo tanto no puede ser generalizado simplemente de un campo a otro), de las coordinaciones operatorias que actúan en la conservación de la materia, es el hecho siguiente, muy instructivo también en cuanto a la insuficiencia de la interpretación por medio de la mera identificación.[9] Una vez adquirida la conservación de la materia (hacia los siete u ocho años), si a los mismos sujetos se les plantean exactamente las mismas preguntas en relación con la conservación del peso de la bolita deformada, se descubre con sorpresa el hecho siguiente: durante otros dos años más, en promedio, es decir hasta los nueve o diez años, el niño, que tan correctamente razona para deducir la conservación de la materia, objeta la invariancia del peso, precisamente con los mismos argumentos que él rechaza con respecto a la cantidad de materia, aunque los admitiría entre los cuatro y siete años también desde este punto de vista. Admitirá, por ejemplo, que la bolita de barro alargada en forma de pan pierde peso porque se hace más fina, ¡mientras afirma que conserva la misma materia, ya que su delgadez está compensada por su alargamiento!, etcétera. Es más, hacia los nueve a diez años el niño descubrirá la conservación del peso, y la justificará en razón de los mismos tres argumentos (y utilizando las mismas expresiones verbales) que ya utiliza desde hace dos años en lo referente a la materia. Pero hay un hecho aún más curioso; cuando se lo interroga sobre la conservación del volumen físico (medido por el lugar ocupado en el agua de un recipiente, cuyo nivel se desplaza de acuerdo al volumen de la bolita o del panecillo), el niño niega este invariante hasta aproximadamente los doce años, en nombre de las mismas apariencias que ha sabido descartar en los campos del peso y de la materia.[10] Hacia los doce años, en cambio, acepta este invariante de volumen, en nombre de los mismos tres argumentos ya utilizados desde hace dos y cuatro años para el peso y la materia: ¡identidad, reversibilidad de las acciones y composición reversible de las relaciones!

Esta sorprendente evolución por etapas, en la que exactamente los mismos procesos actúan primero contra la conservación, y luego exactamente las mismas coordinaciones operatorias, en favor de la conservación, pero según desfasajes de dos en dos años en promedio, encierra dos tipos de enseñanzas. En cuanto a la hipótesis de la identificación, confirma e incluso refuerza las dificultades subrayadas con anterioridad: si la identificación fuera el verdadero motor de la conservación, no sólo debería provocar el reconocimiento de la invariancia de la cantidad de materia al descubrir el sujeto que nada ha sido quitado ni agregado, sino que

9 Véase para lo que sigue, Piaget e Inhelder: *Le développement des quantités chez l'enfant*, cap. II y III.

10 El niño dirá por lo tanto que la bolita transformada en panecillo hará subir menos el nivel del líquido porque se ha vuelto más delgada, etc.

además, y sobre todo, debería asegurar la conservación del peso y del volumen una vez reconocida la de la materia. Por otra parte, tal desarrollo genético muestra con total claridad que las coordinaciones operatorias consideradas, aun siendo lógicas ya por naturaleza (puesto que son comunes a los tres campos considerados y dan lugar exactamente a los mismos razonamientos deductivos), no son aún formales, en el sentido de que no pueden ser generalizadas de inmediato de un campo a otro. La forma y el contenido siguen pues aún indiferenciados.

3. Las operaciones físicas elementales, el paso de la asimilación egocéntrica al agrupamiento operatorio y la función de la sensación en física, según E. Mach y M. Planck. ¿Por qué razón es más tardía la conservación del peso que la de la materia? A primera vista, se debe con seguridad a que la percepción de la gravidez, ligada a las acciones de llevar y de levantar, es de naturaleza distinta de la de las percepciones ligadas a la acción de volver a hallar, la que sin duda genera la conservación de la sustancia después de haber explicado la del objeto práctico permanente. Y se debe, también, a que la percepción del volumen es aun más fluctuante que la del peso, al carecer de una métrica posible. Nos encontramos pues, nuevamente, con el problema de la influencia de las sensaciones en la constitución de los conceptos físicos.

Es sabido que E. Mach, cuya autoridad como físico ha afianzado el éxito de su epistemología,[11] remozó el positivismo de Comte en el sentido de establecer una vinculación más estrecha con los datos inmediatos, considerados como esencialmente sensoriales. Ya que las ciencias exactas no tratan de explicar, sino de descubrir leyes y prever fenómenos, inútil les resultaría atarse a la hipótesis indemostrable de la realidad del mundo exterior. Por otra parte, la experiencia real se prolonga en experiencias mentales, base del razonamiento deductivo, dedicadas a ahorrarnos esfuerzos mediante la condensación de los hechos en forma de relaciones generales. Por estas dos razones, el físico nunca se enfrenta, en último análisis, más que a sensaciones. Lo mismo ocurriría, según Mach, con el propio psicólogo. Pero el físico coordina entre sí las sensaciones de manera distinta de como lo haría si estudiara la mente: las vincula precisamente por medio de las leyes obtenidas gracias a experimentaciones efectivas o mentales. La frontera entre las ciencias físicas y las psicológicas sigue siendo pues relativa, y los elementos últimos del universo son en definitiva las propias sensaciones.

Por su parte, Max Planck, en los ensayos epistemológicos tan atrayentes reunidos bajo el título de *Initiations à la Physique*,[12] sostiene el punto de vista casi diametralmente opuesto, pero que, sin embargo, expresa una concepción análoga acerca de la función inicial de las sensaciones. La diferencia reside en el juicio de valor emitido sobre estas últimas: para

[11] Véase E. Mach: *La connaissance et l'erreur*. Trad. Dufour. Flammarion, 1941.

[12] Trad. Du Plessis de Grenédan, Flammarion, 1941.

Mach, el progreso de la física consiste en remontarse a sus fuentes sensoriales, mientras que para Planck estriba en liberarse de ellas cada vez más. Según Planck, en efecto, la finalidad de la física es el conocimiento del mundo exterior, conocido y reconocido como tal. Cierto es que, según una observación fundamental de Planck, sobre la que insistiremos más adelante, ese mundo "no se encuentra en el origen sino al término de la investigación en física. Dicho término, en realidad, nunca puede ser alcanzado, pero nunca debemos perderlo de vista si queremos progresar" (pág. 6). En efecto, "la física, como cualquier otra ciencia, posee cierto núcleo de irracionalidad, que es imposible reducir por completo" y "la causa de esta irracionalidad está —tal como la física moderna lo hace resaltar cada vez con mayor nitidez— en el hecho de que el propio investigador es parte constitutiva del universo" (pág. 6). Por eso, la meta a alcanzar es "una cierta liberación de la física de sus elementos antropomórficos y, sobre todo, de los vínculos que la atan a lo específico de las percepciones de nuestros órganos de los sentidos" (pág. 11). Pero "si tomamos en cuenta que las sensaciones constituyen sin duda alguna la base de cualquier investigación, no podremos menos que considerar extraña, y aun paradójica, esta aversión de la física actual por lo que, al fin y al cabo, constituye su condición fundamental" (pág. 11). En efecto, "resultaría imposible cortar por completo toda comunicación con la fuente indiscutible de todos nuestros conocimientos" (pág. 31). Por consiguiente, "no debería entenderse que se tiene que separar radicalmente la representación del mundo de la mente que concibe dicha representación: esto sería insensato" (pág. 36). "La finalidad no consiste en establecer una coordinación perfecta entre nuestros pensamientos y nuestras sensaciones, sino en eliminar de nuestras ideas acerca del universo todo lo que es propio de la individualidad de la mente que lo concibe" (pág. 36).

Ahora bien, aunque Planck describe el ideal de los físicos en el curso de todo el desarrollo de su ciencia de manera en apariencia mucho más exacta que Mach, ambos comparten la idea, por desgracia corriente entre los no psicólogos, de que la sensación es la única fuente del conocimiento. De ahí proviene la confusión visible en la formulación de la tesis de Planck, tan indiscutible, sin embargo, en su esencia.

Pero el punto de partida del conocimiento no es la sensación: es la acción de conjunto, de la que la percepción forma parte. El conocimiento inicial es pues asimilación de los objetos a la acción, o sea modificación del objeto por el sujeto tanto, por lo menos, como modificación del sujeto por el objeto. Percibir un peso, por ejemplo, consiste ante todo en levantar el objeto de una determinada manera: de una manera que puede influir profundamnte sobre los datos percibidos, puesto que entonces no se percibe el peso del objeto en sí mismo como si ese peso pudiera ser aislado, sino el peso referido a un determinado nexo entre el objeto y los movimientos del sujeto. Lo mismo sucede con la visión (vol. I, cap. II, § 4), etc. Ahora bien, estas acciones, punto de partida de los conocimientos particulares, no sólo no pueden ser eliminadas en ninguna etapa del desarrollo del saber, sino que, gracias a trasformaciones que debemos tratar de analizar objetiva-

mente, se convierten en los instrumentos indispensables del conocimiento racional, como operaciones cada vez más adaptadas y mejor coordinadas. Con esto no aludimos al papel que desempeñan las intervenciones necesarias del experimentador en las determinaciones microfísicas, que plantean un problema especial aunque tienen cabida en la regla general (como veremos en el cap. VII). Hablamos tan sólo de las operaciones matemáticas, por una parte (que aún son acciones, tal como hemos visto en el volumen I) y, sobre todo, de las operaciones del físico que experimenta, y que se ve inevitablemente obligado a actuar sobre la realidad para conocerla, aunque más no sea para aislar los factores y provocar su variación. La intervención de la acción del sujeto no es en sí ni favorable ni perjudicial, desde el punto de vista del conocimiento: puede falsear los hechos, cosa que hace generalmente al principio en una medida bastante amplia, pero puede restablecerlos en sus relaciones e incorporar la acción en estas mismas relaciones, lo que lleva a la objetividad.

El problema consiste entonces en comprender cuáles son las condiciones de la operación, fuente del conocimiento objetivo, y cuáles los caracteres de la acción deformante: ahora bien, aquí se encuentra nuestro posible punto de coincidencia con Planck, por encima de nuestras diferencias de lenguaje. En efecto, Planck esboza la solución del problema de la manera más sensata, al oponer entre sí dos elementos bien distintos: "lo propio de la individualidad de la mente que concibe" y la "mente (sin más) que concibe". En otras palabras: por un lado está el sujeto en cuanto fuente de egocentrismo deformante, por otro lado está el sujeto en cuanto fuente de razón y de conocimiento objetivo. Ahora bien, ésta es precisamente la bipolaridad que la psicología de la acción y de la operación permite explicar, mientras que la primacía de la "sensación" deja enteramente incomprensible. En efecto, el egocentrismo es el pensamiento centrado en la acción propia y en la toma de conciencia, necesariamente incompleta en este caso, de las sensaciones que están vinculadas con aquélla; por el contrario, la razón atañe a la coordinación de las acciones, descentra el sujeto y reduce la sensación al papel de indicio simbólico, mientras que la conciencia se dedica a esta coordinación como tal y a las transformaciones correlativas que permite descubrir en el seno de los objetos alcanzados por las acciones. Se dan, pues, dos tipos de asimilación del objeto al sujeto o, para decirlo con mayor precisión, dos formas de esquemas de asimilación, y todo el desarrollo de la inteligencia, así como toda la evolución del conocimiento científico, constituyen un pasaje desde una de estas estructuraciones a la otra: de la asimilación egocéntrica a la asimilación racional.

En primer término, la asimilación del objeto a la acción inmediata, insuficientemente coordinada con otras, tiene que ser deformante, con respecto al objeto, porque sigue siendo, en este caso, egocéntrica: reduce el objeto a un solo punto de vista particular, que es el del yo en su actividad propia en el momento considerado. Así, la actividad de la mirada se inicia (como lo vimos en el vol. I, cap. II, § 4) por una "centración" y ésta determina la sobreestimación relativa del elemento centrado. En el campo del peso, la acción de sopesar se inicia también por una centración, sea,

por ejemplo, que la mano contenga el objeto en medio de la palma, sea que lo levante por un lado o por otro: la bolita de arcilla parecerá entonces pesar más, al estar concentrada en el hueco de la mano, que el panecillo extendido a lo ancho de la palma. Ahora bien, el juicio resultante es egocéntrico, y por lo tanto deformante, en la exacta medida en que el sujeto aún no posee puntos de comparación y se imagina que su evaluación momentánea es la única posible, en vez de considerar que dicha evaluación está en relación con las centraciones elegidas. Hasta tal punto es sistemático este egocentrismo intelectual, en los comienzos de la vida mental, que caracteriza todo el pensamiento prelógico del niño: colocado ante una balanza, cuya utilización, por lo demás, conoce, el niño de seis o siete años espera que el panecillo resulte más liviano, sobre el propio platillo de la balanza, que la bolita de la cual procede. Plantea razones del siguiente tipo: el pan "sobresale de los bordes del platillo, y por lo tanto pesa menos porque la balanza no lo siente", etc. La balanza queda pues asimilada a la propia mano, que siente en efecto más débil el peso en un caso que en el otro.

Pero, en segundo lugar, la asimilación del objeto a la acción alcanza resultados objetivos y ya no deformantes, en la medida en que las acciones se coordinan entre sí de acuerdo con un sistema de composiciones reversibles y se transforman así en operaciones. En el campo sensoriomotor y perceptual, existe ya una corrección relativa de los errores originados por la centración, en cuanto se realizan descentraciones, transportes y comparaciones, etc.; en resumen, en cuanto interviene un sistema de regulaciones en forma de una coordinación de las centraciones. En el campo del pensamiento, es decir de las acciones internalizadas, el progreso se acentúa con la articulación de las intuiciones, hasta el punto en que se alcanza un equilibrio móvil con la constitución de las operaciones transitivas, asociativas y reversibles: el egocentrismo queda entonces eliminado por completo debido al agrupamiento de las operaciones, equivalente en el pensamiento a lo que es la centración sensoriomotriz. Además, como el agrupamiento de las operaciones no puede ser obra de un solo individuo, ya que supone la coordinación de los puntos de vista y su reciprocidad, la objetividad por él constituida implica una dimensión interindividual, y por lo tanto un sistema de cooperación, en el sentido propio de co-operaciones entre observadores múltiples.

En la oposición entre Planck y Mach, de la que habláramos hace un momento, queda pues claro que Mach se apoya en una psicología un tanto escasa de sagacidad, al pretender reducir el mundo exterior y físico a la sensación: adquirimos nuestros conocimientos por intermedio de las acciones, y, si éstas son subjetivas al principio, es por el carácter egocéntrico de la asimilación inicial; en cambio, durante el proceso de agrupamiento operatorio de las acciones, la objetivación que de él resulta convierte al mundo exterior en un sistema de invariantes independientes de los puntos de vista del observador. Planck está pues profundamente acertado, cuando propone al físico investigar la realidad exterior, aun cuando ésta —como él mismo reconoce— "nunca pueda ser alcanzada de un modo completo".

Pero el hecho de eliminar los "elementos antropomórficos" y "lo que es propio de la individualidad del que concibe", y por lo tanto los elementos egocéntricos del conocimiento, no significa de ninguna manera la eliminación del sujeto en cuanto fuente de las acciones coordinadas y de las operaciones que constituyen el propio conocimiento objetivo.

Volvamos, pues, a las operaciones físicas elementales que aseguran la conservación de la materia, del peso y del volumen, y tratemos de llevar adelante la discusión entre Planck y Mach, centrándola en el desfasaje que se observa en la formación respectiva de estos tres conceptos: semejante desfasaje es, en efecto, en alto grado instructivo, desde el punto de vista de las relaciones entre la "sensación" y la coordinación de las acciones, ya que permite a la vez captar el mecanismo de los retrasos del conocimiento, causados por el egocentrismo, y el de los progresos del conocimiento, debidos al agrupamiento cada vez más amplio de las acciones. Recordemos, a este respecto, que las operaciones que intervienen en la constitución de los invariantes de materia, peso y volumen, en el momento de las deformaciones o de los seccionamientos de un objeto, son exactamente las mismas, incluyendo las expresiones verbales utilizadas por los sujetos, antes de descubrir la conservación, y luego en el propio curso de este descubrimiento: el problema consiste por lo tanto en comprender en qué sentido la diferencia de las percepciones (o "sensaciones") de materia, peso y volumen, explica tal desfasaje y en qué sentido el agrupamiento de las operaciones explica el isomorfismo de los invariantes operatorios finales a pesar de este desfasaje y a pesar de la diferencia de las cualidades perceptuales que están en juego.

A este respecto, un primer hecho sorprendente es el de que la construcción mediante la cual el sujeto se cerciora de la conservación de la sustancia, hacia los siete u ocho años, del peso hacia los nueve o diez, y del volumen físico hacia los once o doce años, se reduce en los tres casos a las operaciones cualitativas más generales (con mayor precisión: a las operaciones "infralógicas" intensivas, en el sentido que le hemos dado en el vol. I, cap. II, § 7), sin intervención previa alguna de la medida (en un sentido que implique la iteración de una unidad): por una parte, hay mera adición de las partes del objeto en totalidades jerárquicas ($A + A' = B$; $B + B' = C$; etc.) o correspondencia entre sistemas análogos de partes (A_1 y A'_1 corresponden a A_2 y A'_2, etc.); por otra parte hay emplazamiento y desplazamiento, es decir construcción de un orden y cambio de orden, con posible correspondencia entre varios órdenes (o sea multiplicación lógica de las relaciones de emplazamiento). La mejor prueba de que el sujeto empieza por realizar estas operaciones de carácter intensivo, sin recurrir al principio ni a la medida, ni a la cantidad matemática, es el hecho de que la primera de las formas representativas o conceptuales de conservación que descubre es la de la materia: ahora bien, fuera de cualquier determinación física como la de la masa, este invariante inicial de materia se reduce a la conservación de una "sustancia" distinta de sus atributos (forma, dimensiones, etc.), es decir, precisamente de ese sustrato

semilógico y semifísico que el sentido común, y con éste la filosofía de Aristóteles, señalan tanto en los sustantivos del lenguaje, como en los conceptos del discurso y en las cualidades del universo sensible. Pero en el niño, cuyo pensamiento no construye sistemas, esta sustancia invariante, antes que producto de una imaginación ontológica o metafísica, es la expresión de la acción real o posible que consiste en "reencontrar" los mismos objetos o los mismos elementos del objeto, al margen de los cambios de forma o de colocación; y las operaciones infralógicas de adición partitiva y de emplazamiento que le permiten concebir a la sustancia conservándose a través de estos cambios, no son sino las distintas composiciones reversibles y asociativas que coordinan entre sí las acciones de reencontrar.

Si queremos ahora comprender por qué estas operaciones no se aplican inmediatamente al peso y al volumen físico, como sucede con la sustancia, debemos analizar el tipo de conexión que se establece entre tales operaciones y la acción de reencontrar. En este sentido resulta fácil verificar que los sujetos capaces de utilizar estos esquemas de partición y de emplazamiento, los estructuran de acuerdo con todas las operaciones del "agrupamiento" lógico (respecto de este concepto, véase el vol. I, cap. 1, § 3), lo que muestra que dichas operaciones sólo desempeñan, con respecto a las acciones de reencontrar, el papel de coordinaciones generales: 1) la transitividad: si tres cantidades A, B y C se admiten como iguales de dos en dos, $A = B$ y $B = C$, el sujeto deduce que $A = C$, mientras que no lograba deducir esta conclusión en el nivel en que no admitía la conservación de la sustancia cuando la bolita cambiaba de forma.[13] 2) La asociatividad $(A + B) + C = A + (B + C)$: ante dos juegos de fracciones de bolitas, A_1; B_1 y C_1 y A_2; B_2 y C_2, el sujeto admite que si se reúne en un solo trozo $(A_1 + B_1)$, dándole a este trozo una forma cualquiera, y si de la misma manera se reúne $(B_2 + C_2)$, entonces $(A_1 + B_1) + C_1 = A_2 + (B_2 + C_2)$. 3) La reversibilidad y 4) la identidad han sido descriptas en el § 2. 5) El sujeto distinguirá además la tautología $A + A = A$ de la adición acumulativa. En resumen, decir que el sujeto es capaz, durante las particiones (reales o mentales) de la bolita, y durante los desplazamientos de las partes de acuerdo con una distribución cualquiera, de reencontrar el conjunto de las partes y de conservar por lo tanto la totalidad de manera invariante, equivale a afirmar que sus acciones de reencontrar las partes desplazadas están coordinadas según el esquema de coordinación general de las acciones, constituido por el "agrupamiento" cualitativo que consiste en composiciones móviles (transitividad), en desvíos (asociatividad), en retornos (reversibilidad) y en operaciones nulas (identidad y tautología). Pero semejante esquema de coordinación no es anterior a las acciones consideradas ni constituye aún un modelo formal aplicable desde el exterior a acciones existentes con independencia de él mismo: no es sino la forma de equilibrio lograda por estas acciones al reencontrar

13 Lo mismo ocurre con las operaciones que consisten en seriar cantidades desiguales ($A < B$; $B < C$; por lo tanto $A < C$), que se constituyen en un mismo instante.

las partes colocadas de distintas maneras, mientras que tales acciones van coordinándose entre sí. En cuanto a las particiones y a los emplazamientos agrupados así, tampoco son estructuras acabadas que se interponen entre el agrupamiento general y las acciones del reencontrar: son formas determinadas de coordinaciones que vinculan entre sí las acciones de "reencontrar" durante los fraccionamientos y las deformaciones de la bolita. Dichas formas son por cierto semejantes a las particiones y emplazamientos que intervienen en la estructuración de las longitudes, superficies, etc., con prescindencia de la sustancia del objeto: por consiguiente esas operaciones son espaciales en su principio; en este caso son espaciales y físicas al mismo tiempo. Pero tampoco existen una forma espacial por un lado y, por el otro, un contenido físico, construidos cada cual por separado: el espacio, ya lo hemos visto, no es sino la coordinación de las acciones que se ejercen sobre el objeto y, mientras que dicha coordinación es geométrica, las acciones son, en cambio, físicas. En suma, entre el agrupamiento general de las operaciones intensivas, que es de carácter lógico (las operaciones son espaciales cuando se ejercen sobre el objeto y no sobre colecciones discontinuas de objetos), y el contenido de las acciones coordinadas, que aquí se reduce a la acción física de "reencontrar", no se dan tres aspectos sucesivos en el tiempo: hay un todo único que es simultáneamente lógico, espacial y físico; y sólo la estructuración reflexiva posterior habrá de escindir en tres sistemas lo que constituye al principio un sistema único indiferenciado.

Se entiende entonces por qué no se aplican, desde el primer momento, al peso los mismos agrupamientos de operaciones partitivas o referidas al emplazamiento, por más que dicho peso parezca constituir uno de los caracteres más sensibles y más constantes de la materia: ocurre que las formas de coordinación que intervienen en la constitución del invariante de peso, aunque semejantes a las anteriores, tampoco pueden ser disociadas de las acciones coordinadas por ellas ni pueden, por lo tanto, dar lugar a una mera generalización lógica, puesto que constituyen, tanto en el caso del peso como en el de la sustancia, el resultado de una organización o de un equilibramiento progresivo de acciones físicas particulares. Todo el problema del desfasaje entre los dos invariantes queda entonces reducido a lo siguiente: ¿por qué razón las acciones de levantar y de sopesar son agrupadas, según los esquemas de la partición y del emplazamiento, después que las acciones de reencontrar, si las formas del agrupamiento coordinador son las mismas? Aquí es donde se hace más patente el papel inhibidor o acelerador de lo que Mach y Planck llaman la "sensación" y que no es otra cosa sino el contenido cualitativo distinto de las acciones físicas diferenciadas, por oposición a las mismas formas de coordinación.

En efecto, no sólo son, como ya hemos visto, los mismos razonamientos y las mismas expresiones verbales, los que permiten al sujeto descubrir y justificar la conservación del peso después que la de la materia, sino que además se observa que las mismas operaciones y los mismos agrupamientos exactamente, presentan alrededor de dos años de adelanto o de atraso, según que su contenido se refiera a la sustancia o al peso. Por ejemplo, la transitividad de las igualdades de peso $A = B$; $B = C$, y por lo tanto

$A = C$, la seriación de los pesos $A < B$, $B < C$ y por lo tanto $A < C$, la reversibilidad, etc., aplicadas al peso, se constituyen todas al mismo tiempo, dos años después aproximadamente que las mismas operaciones aplicadas a la materia. De esta manera, las coordinaciones utilizadas son isomorfas, aunque no por ello constituyan todavía una lógica formal: en rigor sea dicho, concluir que ($A = C$ si $A = B$ y $B = C$) no es aún la misma operación cuando se trata de coordinar las acciones de pesar y las de reencontrar; este mismo agrupamiento, aunque muy general, constituye en cada caso la forma de equilibrio alcanzada por la coordinación de un tipo de acciones bien determinadas, y no de una acción cualquiera. Entre el agrupamiento de las operaciones y su contenido físico, sólo empieza por existir una relación entre coordinación y acciones coordinadas: no se establece de entrada una relación lógica entre forma y materia; más exactamente, la primera de estas dos relaciones precede de lejos a la segunda y le es tan necesaria para su formación, que es imposible comprender la relación entre las estructuras lógico-matemáticas y la experiencia física si no se parte de esta filiación genética.

En efecto, si nos limitáramos al punto de vista de las meras "sensaciones" —y volvemos aquí a la discusión entre Mach y Planck, después de haber retornado a datos sobre los que no insistiremos— no comprenderíamos el desfasaje de la formación de los invariantes de peso y de materia: el peso da lugar a una percepción precisa y bien caracterizada, mientras que la conservación de una materia sin peso constante, es decir, de una "sustancia" desnuda y "abstracta" no corresponde a ninguna percepción aislable. Si nuestras ideas fueran "abstraídas" de las sensaciones, según una fórmula tan errónea como corriente, y en la cual el propio Planck coincide con Mach a quien trata de refutar, la conservación y las operaciones relacionadas con la materia deberían constituirse con más dificultad que las relacionadas con el peso. Desde el punto de vista de la acción, en cambio, las cosas cambian por completo. En primer lugar, la acción de sopesar implica la de reencontrar, mientras que la recíproca no es cierta. Admitir que la cantidad de materia en el panecillo es la misma que en la bolita de la que se formó, equivale a reencontrar mentalmente las partes de este todo, tan sólo desplazadas, lo que no implica en efecto ninguna acción de pesar, mientras que reunir mentalmente los pesos de esas mismas partes para igualar su suma con el peso del todo inicial, equivale ante todo a reencontrar los fragmentos: así pues, desde el punto de vista de la acción, el invariante de peso presupone el de sustancia, sin que sea cierto lo inverso. En cuanto al tiempo considerable que transcurre entre la constitución del sistema de operaciones que conciernen a la materia, y la del sistema de operaciones que conciernen al peso, su explicación es igualmente sencilla: es mucho más difícil coordinar entre sí acciones sucesivas de sopesar (directamente) que agrupar acciones de reencontrar. Estas sólo recurren a desplazamientos y reuniones espaciales que coordinan acciones de ver, asir o tocar, etc., es decir acciones físicas poco especializadas —y en consecuencia de fácil descentración y de fácil coordinación—,

mientras que sopesar es una acción especializada, que exige una estimación bastante exacta y cuya toma de conciencia favorece por un lapso prolongado la evaluación subjetiva egocéntrica, antagónica del agrupamiento. Para llegar a pesar objetivamente, no es suficiente comparar las impresiones respectivas de ambas manos y, por consiguiente, no se trata de articular la acción interponiendo un sistema de relaciones entre los propios objetos, relaciones observadas, por ejemplo, con el dispositivo de la balanza.

Ahora bien, pesar con la balanza es también una acción; pero una acción cuyo carácter de coordinación operatoria se capta de inmediato. En efecto, aun sin dar intervención a ninguna métrica, se trata de comparar dos objetos por intermedio de un tercero cuyo equilibrio y posición son determinados por el peso de los primeros. Afirmar de tres objetos a los que hay que pesar, que $A = C$ si $A = B$ y $B = C$, es lo mismo que eliminar la evaluación subjetiva de los pesos de A, B y C, para llegar a la conclusión de que si A y B equilibran la balanza y si B y C hacen otro tanto, entonces C actuará con respecto a A igual que con respecto a B, mientras que sobre la mano se comportará de manera distinta. En otras palabras, el poder de sopesar y de comparar que poseían las dos manos, queda delegado en la balanza aunque concediéndole el derecho de llegar a resultados distintos. Y para comprender que estos últimos tienen mayor exactitud, es necesario "descentrar" el juicio egocéntrico, de la misma manera que se corrige una estimación visual cambiando de punto de vista. Así pues, todo lo anterior sirve para explicar fácilmente el hecho de que la coordinación de las acciones del tipo ($A = B$; $B = C$, por lo tanto $A = C$) constituya en realidad dos operaciones distintas en el caso del peso y en el de la sustancia, ya que, aunque la coordinación produce en ambos casos una misma forma, las acciones que deben ser coordinadas son distintas: sólo cuando las operaciones concretas sean sustituidas por proposiciones formales, la coordinación será equivalente entonces en ambos casos.

El volumen físico, por su parte, da lugar a operaciones aun más tardías por las mismas razones. No sólo la conservación del volumen de la bolita deformada, medido mediante la elevación del nivel de agua en el recipiente donde se sumerge el objeto, se adquiere hacia los once o doce años, sino que, además, todas las estructuras operatorias de transitividad, asociatividad, reversibilidad, seriación, etc., de los volúmenes se constituyen correlativamente en la misma edad. Este nuevo desfasaje se debe al hecho de que, para comprender el invariante de volumen físico, el sujeto debe admitir que ni la arcilla sumergida en agua, ni la propia agua, se dilatan ni se contraen. La conservación del volumen físico implica así la de la sustancia y de la resistencia, asimilada por el niño al peso: para los pequeños, la materia es elástica, mientras para los mayores la conservación del peso es aducida como razón de la incompresibilidad. Hay nuevamente, por lo tanto, implicación de sentido único. Por otra parte, la acción necesaria para la comparación de los volúmenes es aun más compleja que la pesada con una balanza: como el volumen se vincula con la acción de rodear (el volumen es un espacio rodeado por superficies, igual que la superficie es el espacio rodeado por líneas), esta acción de rodear queda

transferida al líquido que rodea a la bolita sumergida, estableciéndose la igualdad entre el agua desplazada y el contenido del objeto rodeado (es decir entre el espacio ocupado en el agua y el volumen interior de la bolita). Interviene, pues, una serie de nuevas relaciones vinculadas con las acciones físicas concretas y con su coordinación lógico-espacial, que explican el retraso de la conservación del volumen con respecto a la del peso.[14]

Al examinar de esta manera la génesis de algunas nociones físicas, basándonos en experimentos psicológicos reales y no en los que los psicólogos alemanes llamaron en un tiempo "Schreibtischexperimente", o experimentos que se realizan sin levantarse del escritorio (ya que para desgracia nuestra la "experimentación mental" no sirve de nada en psicología), observamos hasta qué punto es ilusoria la tesis defendida por Mach y por Planck según la cual el conocimiento de las propiedades elementales de la materia nos viene de las sensaciones: la sensación sólo tiene significado en relación con acciones y éstas son las que constituyen las fuentes del saber. Ahora bien, la acción necesariamente está dirigida a ciertos objetos: ésta es la razón de la primacía psicológica del realismo de Planck frente al idealismo sensorial de Mach. Por el contrario, en la medida en que el conocimiento se desantropomorfiza al liberarse del egocentrismo de las acciones inmediatas, el papel que desempeña el sujeto en el conocimiento crece, pese a lo que parece creer Planck: la coordinación descentrada de las acciones prima simplemente sobre la acción directa y la objetivación que resulta de dicha objetivación exige la intervención de una actividad mucho mayor del sujeto cognoscente.

La constitución de los invariantes de sustancia, peso y materia, nos enseña otras cosas más. En efecto, estas formas de conservación expresan simultáneamente los absolutos de la realidad, en el nivel mental considerado, y los invariantes operatorios de la acción coordinada referida a esta realidad. Esta doble naturaleza de los invariantees, que plantea todo el problema de la adecuación de las operaciones lógico-matemáticas a la realidad material, nos informa sobre lo que es la causalidad física en sus comienzos: una reconstrucción de lo real por medio de operaciones que corresponden a las transformaciones exteriores y las asimilan a acciones posibles del sujeto. Por su parte esta asimilación de la realidad a las operaciones del sujeto presenta dos polos, que corresponden a la dualidad ya observada anteriormente entre las reacciones de no conservación y las coordinaciones que llevan a la conservación. Al principio, la asimilación de la realidad exterior a los esquemas de acción del sujeto se presenta por cierto en una forma egocéntrica: así, para el niño la balanza debe reaccionar como la mano; una bolita que sobresalga de los bordes del platillo debe parecerle liviana como cuando sobresale de la palma; si la balanza contradice una vez los juicios emitidos según la estimación muscular, no es seguro que siga teniendo prioridad más adelante, etc. Por el contrario, en lo

[14] Piaget e Inhelder: *Le développement des quantités chez l'enfant*, caps. III y VI.

sucesivo se constituye una causalidad objetiva que equivale a asimilar la balanza o el desplazamiento del agua en el recipiente que contiene la bolita, etc., ya no a tal o cual acción particular del sujeto, sino a todo el sistema operatorio de las acciones coordinadas: los desplazamientos, las sustituciones, etc., admitidos por las transformaciones reales, se traducen entonces en operaciones que reproducen estas modificaciones objetivas en la medida en que éstas son asimiladas a aquéllas. Este modo de composición operatoria, aplicado a los objetos físicos por analogía con las composiciones numéricas y espaciales, va a engendrar un tipo de explicación causal de particular sencillez: el atomismo.

4. La génesis del atomismo y las tesis de Hannequin y de G. Bachelard. E. Meyerson, al tratar de explicar el atomismo por la necesidad de identificación, considera la esfera inmóvil de Parménides como antecedente del atomismo de Demócrito y de Leucipo, apoyándose en un célebre texto de Aristóteles, conforme al cual el átomo acuñó al ser eleático, cosa imposible de sostener como única explicación de los hechos. Sin embargo, ya antes de Demócrito el aritmetismo espacial de Pitágoras presuponía un esquema atomístico: G. Milhaud llegó a decir que Pitágoras fue el primer atomista. Puede incluso sostenerse que, una vez admitida —con Tales— la unidad de sustancia primordial, e imaginados los procesos de transformación de las sustancias de acuerdo con su grado de condensación y de rarefacción, el atomismo ya estaba en germen. Para concebir el agua como aire condensado, la tierra como agua concentrada, etc., es necesario suponer que las partes de la sustancia se aproximan o se separan: basta entonces extender esas composiciones y descomposiciones para llegar al atomismo, porque la idea de concentración y de rarefacción lleva a la de fragmentación, aunque el principio del proceso sea compatible con la continuidad de las partes elásticas, apretadas o flojas.

Se pretendió a menudo que el atomismo especulativo de los antiguos no ha tenido influencia alguna sobre el atomismo científico moderno, lo cual es problemático e imposible de demostrar. Pero aunque no hubiera existido influencia directa, ello probaría a fortiori cuánta razón tiene Hannequin al buscar el origen del atomismo "en la propia constituición de nuestra razón",[15] al margen del valor que tenga su intento de reducir la hipótesis atomística a la idea de número. En cuanto a las múltiples direcciones que ha tomado el desarrollo de los esquemas atomísticos, confirman lo anterior y, como dice Bachelard, muestran la vitalidad de la idea. Hasta la propia negación de la realidad del átomo por los positivistas es reveladora, ya que éstos han continuado utilizando el atomismo como lenguaje indispensable, de la misma manera que los irracionalistas rinden implícito homenaje a la razón cuando utilizan el discurso para demostrar su tesis.

Es por lo tanto necesario tratar de poner en claro los orígenes psicogenéticos del atomismo y en particular de saber si toda mente que llega a los conceptos de conservación elemental extrae de ellos necesariamente un

[15] Hannequin: *L'hypothèse des atomes*, pág. 12

esquema de composición atomista. A este respecto se plantean tres problemas principales: el eventual parentesco del atomismo con el número, supuesto por Hannequin; el papel de la identificación, al que alude E. Meyerson, y el de la composición racionalmente elaborada a partir de intuiciones sensibles, propuesto por G. Bachelard.

En efecto, este último ha subrayado con vigor el hecho de que, por muy racional y elaborada que sea la idea de átomo, su materia la constituyen intuiciones perceptivas precisas. Sería conveniente estudiar con cuidado este paso de la intuición a la composición operatoria, para comprender el alcance explicativo de la hipótesis atomista. En una de las hermosas fórmulas cuyo secreto le pertenece, G. Bachelard define el atomismo como "una metafísica del polvo",[16] aunque exagera un tanto cuando agrega que "el atomismo es, a primera vista, una doctrina de inspiración visual... El polvo y el vacío aprehendidos en una misma mirada ilustran en verdad la primera lección del atomismo" (pág. 40). No vamos a acusarle de haber hallado esta idea sin moverse de su biblioteca, ya que él mismo nos pinta el esplendor de las partículas irisadas bailando en el rayo de luz que penetra en una habitación cerrada. Tampoco negaremos la posibilidad de que tal espectáculo haya podido desempeñar alguna función, ya que conocemos a un niño que encontró apoyo en dicha visión para su atomismo espontáneo. Pero la metafísica del polvo no tiene un sentido tan sólo visual, sino uno más amplio. Y, retomando un ejemplo de G. Bachelard, el azúcar o la sal que se disgregan en el agua pueden inspirar al niño entretenido ante un reloj de arena muy diferentes reflexiones, ya que en este caso el atomismo se convierte en la afirmación de la existencia de granos invisibles, afirmación ésta dictada por la necesidad de conservación.

Esta es la dirección en la que hace tiempo tratamos de analizar, junto con B. Inhelder, la conexión entre formas genéticas elementales del atomismo con la construcción de los conceptos de conservación.[17] Presentamos a niños de entre cuatro y doce años, dos vasos de forma y medidas iguales, llenos de agua hasta los mismos niveles. Luego sumergimos en uno de ellos dos o tres terrones de azúcar, e hicimos observar a los sujetos la elevación del nivel del agua. Preguntamos entonces si, una vez disuelto el azúcar, el agua bajaría o no, lo que planteaba simultáneamente la cuestión de la conservación del azúcar en el agua y la manera de explicar esta conservación invisible, es decir, el eventual atomismo. Pero además, pesamos con los sujetos el vaso de agua no azucarada y el vaso que contenía el azúcar aún no disuelta (o el vaso conjuntamente con los terrones), preguntando si el peso adicional del azúcar se conservaría después de la disolución, o si el agua en la que el azúcar se hubiera disuelto recobraría su peso inicial, igual al del otro vaso. Para ser más precisos, las preguntas sobre la conservación formuladas al niño son tres: conservación de la sustancia o materia (porque puede pensarse que el azúcar se conserva, aun en el supuesto caso de que el

[16] G. Bachelard: *Les intuitions atomistiques*. Paris, Boivin, 1933.

[17] Piaget e Inhelder: *Le développement des quantités chez l'enfant. Conservation et atomisme*. Delachaux et Niestlé, 1940.

nivel de agua baje), conservación del peso y conservación del volumen (medido por el lugar ocupado en el agua); y estas tres formas de conservación pueden corresponder a formas distintas de atomismo, según los distintos tipos de composición. Por otra parte, estas preguntas se formulan recurriendo primero sólo a la previsión (¿se conservarán o no el gusto azucarado, el peso y el nivel del agua?); posteriormente, una vez realizada la lectura de los datos del experimento, se reiteran las preguntas pidiendo una explicación sobre los resultados observados. Este análisis puede ser completado presentando al niño granos de maíz, que se hinchan bruscamente al ser calentados, y pidiéndole que explique dicha dilatación. Nos encontramos nuevamente con las cuestiones de conservación de la materia (aumento de sustancia o mero estiramiento), del peso, y aun del volumen corpuscular, con una nueva posibilidad de establecer esquemas atomistas inspirados en la harina.

Ahora bien, las etapas de desarrollo reveladas por las reacciones de los niños son sumamente esclarecedoras en cuanto a las relaciones entre la formación del atomismo y la de los conceptos de conservación. Durante la primera etapa (antes de los siete u ocho años), no hay conservación del volumen, ni del peso, ni siquiera de la sustancia, y no se observa señal alguna de esquema atomista que vaya más allá de la percepción actual de los granos o partículas visibles. El azúcar disuelto en el agua se supone reducido a la nada, y si su recuerdo se mantiene un momento en cuanto gusto azucarado, este sabor, comparado por el niño con una especie de olor, se evaporará rápidamente para perderse también en la nada. En cuanto al maíz que se dilata con el calor, lo que se da, en opinión de los sujetos jóvenes, es una creación absoluta de sustancia: el grano, pequeño al principio, se hace grande "como nosotros, cuando crecemos", y el niño no ve en ello ningún problema. Por el contrario, desde la segunda etapa, que se inicia hacia los siete u ocho años, se constituyen en forma correlativa un concepto de conservación de la sustancia y un principio de atomismo. Se concibe que el azúcar disuelto pierde todo su peso y que deja de ocupar espacio alguno en el agua, pero sigue existiendo en cuanto materia, asegurando así la permanencia del gusto azucarado. Pero entonces, ¿cómo se conserva? En forma de líquido concentrado ("como jarabe") mezclado con el agua, o en forma de granos, visibles al principio en el momento de la disgregación del trozo, y luego cada vez más exiguos e invisibles: estos granos, demasiado pequeños para ser percibidos o para conservar un peso o un volumen, constituyen el esquema atomista más sencillo, que asegura la conservación de la propia sustancia. De la misma manera, en el caso del maíz, la dilatación del todo no implica ya aumento de sustancia, sino un mero estiramiento que va aparejado a menudo con la idea de una estructuración corpuscular de la masa o de la harina. Hacia los nueve o diez años aparece una tercera etapa, caracterizada por la conservación del peso, pero no por la del volumen: el vaso de agua azucarada conserva el mismo peso que antes de la disolución del azúcar porque los pequeños granos invisibles conservan su propio peso y porque la suma de estos pesos corpusculares equivale al peso total de los terrones de azúcar. La reacción

ante el maíz es la misma, ya que su dilatación no excluye, para el niño, la invariancia del peso de los granos de harina. Por fin, hacia los once o doce años, y sólo entonces, una cuarta etapa señala la aparición de la conservación del volumen: el nivel en el vaso de agua azucarada no bajará al terminarse la disolución, porque cada granito invisible ocupa en el líquido un espacio elemental y porque la suma de estos espacios equivale al volumen ocupado al principio por los mismos terrones de azúcar. En cuanto al maíz hinchado, el niño que hasta este momento admitía una dilatación de los granos de harina para explicar la dilatación de conjunto, piensa ahora que cada grano elemental conserva su volumen y que sólo la separación de los granos explica la hinchazón: se observa así un esquema de compresión y descompresión análogo al que, entre los primeros presocráticos, anunciaba el nacimiento del atomismo sistemático.

No hace falta insistir en que si bien en cada una de estas formas sucesivas de atomismo elemental (primero sustancial, luego ponderado, y más tarde espacializado) interviene un proceso de identificación, éste no funciona sino en conexión con un sistema total de operaciones componibles y reversibles, uno de las cuales es la identidad. Volveremos sobre este punto en la sección siguiente.

Estas observaciones psicológicas hablan pues en favor de la hipótesis de G. Bachelard sobre el carácter de "composición" que es esencial para el atomismo. Pero llevan incluso más allá de lo que sostiene Bachelard en la defensa de su tesis. Pensando sobre todo en la combinación química, en la que la composición de los átomos en moléculas desemboca en síntesis imprevisibles partiendo de las propiedades de las partes, Bachelard da la razón a Berthelot cuando éste afirma que las doctrinas atomistas de los antiguos permanecían "ajenas a la idea de combinación propiamente dicha" (pág. 71) y a este respecto se acerca a una oposición entre un atomismo "realista" y un atomismo combinatorio. Ahora bien, aunque es evidente que el atomismo griego y, a fortiori, el atomismo ingenuo del niño, nada tienen que ver con la combinación química, no es menos cierto que todo atomismo, aun en el terreno de los conceptos infantiles, es el producto de una composición. Este es el punto de vista desde el cual convenía recordar las observaciones precedentes. Así, ya la primera forma de atomismo (etapa II), que se limita a asegurar la conservación de la sustancia del azúcar disuelto, por oposición a su peso y a su volumen, implica por sí sola la composición aditiva de las partes en una totalidad invariante. Esto queda probado por la aparición simultánea de la idea de la conservación de la sustancia y de esta forma elemental de atomismo. En efecto, como ya lo hemos visto (§ 2), las operaciones de adición partitiva son las que, gracias a su reversibilidad y asociatividad, determinan la invariancia de la totalidad, por oposición a la no conservación característica del pensamiento preoperatorio. Ahora bien, el atomismo naciente no es sino la propia expresión de estas operaciones cuya composición asegura la conservación: así pues, no hay por un lado atomismo y por otro conservación, sino que ambos constituyen los dos aspectos indisociables de la composición partitiva

cuyo objeto es, en primer término, la materia. Con mayor razón sucede lo mismo con la segunda forma de atomismo (etapa III), que vincula la composición partitiva de los pesos con la conservación del peso total; y con la tercera forma (etapa IV), que establece el mismo vínculo en lo relativo al volumen. Por consiguiente, en este campo del atomismo de las partículas invisibles del sólido disuelto en el agua (y lo mismo sucede con la hinchazón de la masa del grano de maíz), no hay intuición atomista antes de la composición atomista: o el sujeto admite la aniquilación de la materia (y su creación por aumento absoluto, en el caso del maíz), o postula su conservación y construye entonces un modelo atomista como esquema de composición operatoria para explicar la invariancia de la totalidad.

Ahora bien, ¿qué parentesco une este modo de composición característico del atomismo naciente con el que genera los números enteros? Este parentesco es real, por cierto, pero no se reduce a la identidad de un único sistema operatorio. Es sorprendente, en efecto, observar que la forma elemental de atomismo, correlativa de la conservación de la cantidad de materia, aparece más o menos al mismo tiempo que las operaciones que formarán el número. Pero ésta es también la etapa en que se constituyen las operaciones aditivas que intervienen en la formación de los primeros invariantes espaciales (conservación de las longitudes, superficies, etc.). Hemos visto, empero (cap. II), que hay isomorfismo y no identidad entre las operaciones infralógicas, que conducen a las reuniones de elementos espaciales así como a la medida, y las operaciones lógico-aritméticas que generan las clases, las relaciones y los números. Si admitimos esta distinción genética, es indiscutible que el atomismo, como composición de las partes del objeto por oposición a las reuniones de objetos en clases o en colecciones numéricas, representa precisamente el prototipo de las operaciones infralógicas, sin ninguna aplicación directa del concepto de clase ni a fortiori de la idea de número, pero que reúne las partes elementales en totalidades, de acuerdo con el mismo esquema operatorio que se utiliza en la adición lógica.

Tan estrecha es esta afinidad de las operaciones infralógicas, que intervienen en el nacimiento del atomismo, con las operaciones espaciales, que en el preciso momento en que concluye la formación del atomismo infantil (es decir, cuando éste abarca al mismo tiempo la conservación de la sustancia, del peso y del volumen de las partículas), es cuando el sujeto se muestra capaz de disociar en un número ilimitado [18] de puntos un continuo lineal o uno de dos o tres dimensiones. De este modo, el átomo es concebido como una especie de punto físico, sin que se pretenda establecer ninguna aproximación con la célebre intuición de Boscovitch, como si el punto fuera un átomo espacial. Por muy elementales que sean estos esquemas infantiles, su generalidad muestra bastante bien el papel que semejantes esquemas pueden haber desempeñado en la formación histórica de los conceptos, y prueba, cuando menos, el carácter natural que tienen

[18] Piaget e Inhelder: *La représentation de l'espace chez l'enfant*. PUF, cap. V.

para la razón en proceso de desarrollo, la descomposición y la composición atomistas.

5. Los principios científicos de conservación y la interpretación de E. Meyerson. El examen psicogenético muestra hasta la evidencia, tal como hemos intentado recordarlo, que las nociones elementales de conservación constituyen los invariantes propios de los primeros "agrupamientos" operatorios: en la misma medida en que las partes de un todo pueden ser reunidas mediante un sistema de composición aditiva reversible, ese todo se conserva con independencia de los desplazamientos de dichas partes, unas con respecto a otras. Aunque estas partes se encuentren disociadas por completo (como en el ejemplo del azúcar disuelto), las partículas invisibles conservan en su suma las propiedades del todo. Y tanto si estas partes están concentradas, como si existe descompresión (como sucede en las variaciones del volumen total del grano de maíz también mencionado en la sección anterior), algo se conserva en el volumen corpuscular. Ahora bien, lo notable de estos conceptos espontáneos, propios del sentido común a partir de determinada etapa del desarrollo mental, es que se constituyen sin que intervenga ni la medida, ni siquiera una cuantificación "extensiva", es decir sin el apoyo de operaciones matemáticas y por la mera composición de carácter "intensivo" de las operaciones lógicas o infralógicas.

¿Existe entonces, acaso, en el funcionamiento del pensamiento, alguna analogía entre la génesis de estos conceptos cualitativos de conservación y la formación de los principios de conservación que, en el transcurso de su historia, la ciencia ha elaborado uno tras otro en términos de cantidad métrica? Y ¿podremos extraer de esta eventual analogía alguna enseñanza sobre la función de la identificación y de la experiencia en la construcción de estos principios? Ello parece probable, en la misma medida en que el trabajo de la ciencia continúa lo que ya hay de racional en el sentido común elemental. Y parece tanto más plausible cuanto que el carácter de invariante operatorio, propio de los conceptos científicos de conservación, queda preparado así a partir del plano cualitativo. De esta manera, la comparación de las formas elementales, vinculadas con los simples "agrupamientos" de operaciones infralógicas, y de las formas superiores vinculadas con los "grupos" de operaciones métricas más refinadas, nos ofrecerá un instrumento útil de análisis: en efecto, es evidente que no corresponde a los invariantes operatorios (desde los más elementales a los más evolucionados), el informarnos por sí solos sobre el proceso exacto de formación de los conceptos de conservación; pero la investigación epistemológica, partiendo desde la mitad de camino, debe realizar una especie de juego de lanzadera entre la exploración de las fuentes y la de las corrientes más nuevas del pensamiento científico.

La interpretación de los principios de conservación formulada por E. Meyerson ha tenido el gran mérito de mostrar con claridad que la conservación, aunque exigida por la razón, no surgía, sin embargo, de la razón sola, ni de la experiencia sola, sino que era el resultado de una íntima interacción entre la deducción y los datos experimentales susceptibles

de sufrir semejante elaboración. Así, el principio de conservación de la materia ya era conocido por los antiguos y deducido por los atomistas. Traía aparejada la conservación del peso, que por otra parte era confundido con la masa. La autoridad de Aristóteles, para quien el peso era una propiedad accidental que variaba con los cambios de estado, hizo poner en duda la constancia del peso; Descartes por su parte insiste en la conservación del volumen, ligada a su esfuerzo para reducir la materia a la extensión. Ha sido necesario, por lo tanto, esperar a Lavoisier, para que la invariancia del peso adquiriera todos sus derechos. Ahora bien, Meyerson muestra con gran claridad cómo la permanencia del peso en el curso de las transformaciones químicas era, para él, una "evidencia" previsible a priori. Cierto es que a menudo verifica experimentalmente que el peso de un compuesto es igual a la suma de los componentes, pero lo hace como mero control y nunca duda de la necesidad del principio "en toda operación existe una cantidad igual de materia antes y después de la operación" (*Identité et réalité*, pág. 188). Mientras que Kant, e incluso Spencer, consideran la conservación de la materia como una verdad necesaria, demostrable a priori, y aunque Stuart Mill no ve en ella más que una ley experimental, Meyerson, gracias a un finísimo análisis histórico, llega a la conclusión de que no es ni lo uno ni lo otro, o, mejor dicho, que es ambas cosas a la vez: es una verdad "plausible", en su vocabulario, o sea una verdad no contradicha, aunque indemostrable en forma experimental, y directamente inspirada por la tendencia causal, es decir por la necesidad de identidad en el tiempo. Como las verdades matemáticas, es pues una mezcla de préstamos tomados de la experiencia, relativos al contenido de los conceptos identificables, y de influencia de la razón en forma de una identificación de lo diverso.

Cierto es que de acuerdo con las concepciones contemporáneas, la masa ya no es invariable en ninguna de las relaciones, disociadas por lo demás, que la caracterizan (relación entre la fuerza y la aceleración, capacidad de impulso, etc.), y que ya no parece necesariamente vinculada con la cantidad de materia. Pero ésta, medida entonces por el número de electrones, permanece, sin embargo, constante. ¿Hasta cuándo? Podría ocurrir que un día el propio electrón apareciese como susceptible de disociación. Pero la cuestión es está: cualquiera que sea la variación que la experiencia lleve a introducir en las características de la materia, siempre encontraremos otro invariante susceptible de asegurar la existencia material de "algo constante".

La identidad en el tiempo, definición de la causalidad según E. Meyerson, vuelve a encontrarse en otro principio de conservación, el principio de inercia o de conservación del movimiento uniforme, que la ciencia moderna se ha visto inducida a elaborar, en oposición esta vez a la de los antiguos. Este principio no está impuesto sólo por la experiencia, como tampoco lo era el anterior, ya que su demostración rigurosa presupondría la utilización de un tiempo y de un espacio infinitos. Entra incluso en contradicción con la experiencia inmediata, puesto que Aristóteles, fiel a la apariencia de las

cosas, admite que los movimientos terrestres "naturales" tienden hacia el estado de reposo, caracterizado por el lugar propio del objeto momentáneamente móvil. Sólo el movimiento circular (que para nosotros entraña precisamente una aceleración) conserva su uniformidad, como el de los cuerpos celestes perfectos. Aristóteles ha utilizado incluso la supuesta imposibilidad del movimiento rectilíneo uniforme que se continúa indefinidamente en el vacío, para justificar su teoría del lanzamiento (*Identité*, pág. 120). Con su afirmación de que "el movimiento en el plano horizontal es eterno", Galileo está en el punto de partida del principio; y, como lo hace observar Meyerson, se trata de una deducción basada en la experiencia imaginada, no material. Descartes demuestra el principio por vía a priori y D'Alembert lo justifica mediante un mero empleo del principio de razón suficiente. La conservación del movimiento rectilíneo y uniforme es, por lo tanto, otra verdad "plausible", es decir, exigida por la razón en cuanto a la necesidad de una conservación, y sugerida por la experiencia en cuanto a la elección del elemento conservado. El principio es de naturaleza "intermediaria entre el a priori y el a posteriori" (*Identité*, pág. 161). También aquí, en efecto, las concepciones contemporáneas han sido llevadas a modificar este principio de conservación, lo que muestra con claridad que éste no es solamente a priori, sino que depende del nivel de la experiencia. Pero, con la teoría de la relatividad, ha sido sustituido por otro principio de inercia, lo que muestra que en su análisis del movimiento, la razón exige una u otra forma de conservación.

Por último, lo mismo sucede con un tercer principio de conservación: el que afirma la equivalencia de las distintas formas de energía, es decir, la conservación de algo cuando hay pasaje de una de estas formas a otra. Ya Descartes formulaba esta conservación, aunque atribuyéndola, por razones a priori, a la cantidad de "movimiento" (mv). Leibniz rectifica este error, y, también a priori, busca la conservación en la "fuerza activa" (mv^2), demostrando su necesidad en nombre de la adecuación del efecto y de la causa. Ahora bien, el calor no estaba comprendido en estos sistemas, y fue necesario esperar a J. R. Mayer para tener el enunciado del principio en su forma actual, aunque, hecho curioso, con una justificación a priori que recuerda la de Leibniz y que no deja bien subsanada la insuficiencia de la demostración experimental. También el principio de la conservación de energía, es, por ende, una verdad meramente plausible, y Meyerson se basa en la famosa discusión de H. Poincaré para inferir con él que la única enunciación correcta del principio es "existe algo que permanece constante"; resulta imposible determinar por adelantado ese "algo" y, sin embargo, está impuesto por la razón.

Se ve hasta qué punto el conjunto de este análisis concuerda con lo que ya muestra la génesis de los conceptos elementales de conservación en el desarrollo del pensamiento espontáneo: exigencia de deducción que rebasa las posibilidades de verificación ofrecidas por la experiencia y, sin embargo, sugerencia, por parte de ésta, de los datos entre los cuales la mente elige el que tomará como base para la conservación. Pero Meyerson va más allá e imagina una línea de demarcación precisa entre la realidad y la

mente en el curso de esa elaboración: como la conservación es la identidad en el cambio, sólo la identidad dependería de la razón, mientras que el cambio expresaría la realidad "racional". Ahora bien, ¿es esta conclusión inevitable? ¿Tendremos fatalmente que distribuir así los respectivos aportes de la mente y de la experiencia, adjudicando a esta última todo lo que es transformación? O, por el contrario, la dualidad de la identidad y del cambio ¿no traduciría acaso, en vez de una antítesis, una conexión necesaria tan interior a la razón como inherente a lo real? Tal es el problema, ya discutido en el plano de las operaciones matemáticas (vol. I, cap. III, § 4) y que ahora volvemos a encontrar en el campo físico.

En efecto, nada hay más aleccionador a este respecto —como lo ilustra toda la obra de Meyerson— que la reflexión acerca de los conceptos de conservación, puesto que éstos se extienden desde el "objeto" sensoriomotor hasta los principios más sutiles de la ciencia (entre ellos, los invariantes elementales descriptos en los §§ 2 y 4 del presente capítulo). Y, a primera vista, podríamos sentir la tentación de admitir como evidente el resultado del análisis meyersoniano, puesto que, en cada uno de estos casos es, en efecto, la experiencia la que impone la comprobación del cambio; por el contrario, la deducción es necesaria para reencontrar lo idéntico, antes de que la existencia supuesta de éste sea confirmada por nuevos controles experimentales, mucho más sutiles que la observación inicial, que proporciona como dato inmediato el hecho mismo de la transformación. Pero si, en definitiva, la experiencia admite tanto la identidad como el cambio, ¿por qué habría de ser la primera más racional que éste? ¿Por qué no podrían ambos constituir a la vez necesidades para la mente y realidades para el mundo físico? La diferencia entre los invariantes operatorios propios de la matemática y los invariantes físicos reside sin duda en que estos últimos se sitúan en el tiempo y en que las transformaciones en cuyo interior la deducción reencuentra lo idéntico son impuestas así por cambios percibidos en el objeto antes de que aquéllas puedan ser reconstituidas matemáticamente. Pero, por una parte, la experiencia concuerda tanto con la identidad como con el cambio y, por otra, la deducción reconstituye las transformaciones así como el invariante, tanto en el terreno lógico o infralógico de las ideas de conservación elementales, como en el de la construcción matemática posterior. ¿Por qué la estructura de la razón habría de ser más apta para asimilar la relación de identidad entre los estados sucesivos que la diferencia entre éstos o que la transformación que lleva de unos a otros?

¿Sería acaso en virtud de un *consenso universal*? Para Descartes, "el movimiento está definido como una pura relación de inteligencia" [19] y no prueba nada el hecho de que el autor del "Mundo" no haya alcanzado esa claridad en un primer intento (tal como han insistido en ello recientemente los admirables estudios de A. Koyré),[20] porque en todo desarrollo

[19] L. Brunschvicg: *L'expérience humaine et la causalité physique*, pág. 187.

[20] A. Koyré: *Etudes galiléennes* II. *La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée*. Hermann, 1939, pág. 114 (II 40).

histórico o genético, la simplicidad caracteriza el término o el equilibrio final de un concepto, y no sus raíces ni sus fases iniciales. Por otra parte, Kant tampoco juzgaba contradictoria la idea de un juicio sintético a priori, que incluyera simultáneamente lo idéntico y lo diverso.

¿Acaso porque los griegos atribuían una virtud específica a la identidad y menospreciaban el cambio? No resulta imposible que Parménides haya ejercido sobre Meyerson el mismo tipo de seducción que Pitágoras sobre Renouvier: existe entre Meyerson y Renouvier cierta analogía en la rigidez intencional del pensamiento y en la decisión inquebrantable de asignar un límite a la comprensión racional. Pero el ejemplo de los griegos podría explicarse por un defecto sistemático de toma de conciencia de los mecanismos operatorios, como ya hemos tratado de mostrarlo con anterioridad (vol. I, cap. III, § 1).

¿Acaso porque, formalmente, la identidad antecede a la relación asimétrica, o relación de diferencia? Pero el análisis lineal propio de la lógica axiomatizada descuida la interacción fundamental de las operaciones. La identidad $A = A$ sólo es inteligible en relación con la diferencia. Por eso los "agrupamientos" de relaciones asimétricas, basados en la diferencia, son exactamente paralelos a los "agrupamientos" de clases, basados en la semejanza. El empleo simultáneo de estos agrupamientos complementarios de operaciones permite al pensamiento del niño llegar, en el terreno de la deducción física cualitativa, a la constitución de las formas iniciales de conservación.

En resumen, ante las semejanzas o las permanencias parciales entre dos estados físicos, y ante las diferencias o los cambios parciales, la razón se esfuerza por asimilar las relaciones de una y otra categoría. En cuanto a su manera de proceder, la construcción de los principios de conservación constituye un ejemplo perfecto, porque estos principios son siempre función de un sistema de interpretación de los fenómenos considerados: su papel no consiste sólo en afirmar la presencia de la identidad en el cambio, sino también en integrar estos dos aspectos de la realidad en una síntesis que abarque simultáneamente la transformación y la conservación. Y, para ello, la razón siempre utiliza el mismo método: tiende a asimilar la totalidad del proceso, es decir la invariancia y el cambio reunidos, a uno de los sistemas operatorios de que dispone. En virtud de esta asimilación fundamental, ya no deformante como la asimilación conservadora propia de las generalizaciones intuitivas, sino equilibrada con la acomodación, la modificación comprobada por la práctica se convierte en "transformación" en el sentido operatorio del término, mientras que la propia conservación es concebida como el invariante necesariamente correlativo a toda transformación operatoria.

Así, desde las ideas elementales de conservación (descriptas en los §§ 1-2 y 4), observamos que la construcción del objeto permanente está vinculada con la del grupo práctico de los desplazamientos. Más importante aún: toda la construcción de los invariantes de sustancia, peso y volumen, se halla vinculada con la de los agrupamientos aditivos de partición, es decir, con los mismos agrupamientos cuyos esquemas atomistas

elementales son generados por las operaciones. En todos estos casos, la conservación descansa en un juego de operaciones que expresan, además, las propias transformaciones: la conservación procede de la "operación inversa" y de la "operación idéntica" de grupo o de agrupamientos, cuyas otras operaciones traducen las variaciones del sistema como tales: sería pues ilegítimo atribuir a la razón sólo algunas de estas operaciones y no su conjunto, porque este conjunto constituye una totalidad única, a la vez inagotable y cerrada en sí misma.

En cuanto a los principios científicos de conservación, ocurre a fortiori con ellos lo mismo: la identidad racional que entrañan es mucho más indisociable aún de las variaciones racionalmente construidas o reconstruidas, implicadas también ellas en la totalidad del sistema. Por otra parte, la conexión de estos principios con las transformaciones operatorias y su función de invariantes en relación con éstas es evidente y naturalmente no ha escapado al análisis de E. Meyerson. Pero éste no ha insistido en dicho aspecto, porque, para él, la operación no crea la diversidad, y porque el razonamiento operatorio, aun en matemática pura, extrae su fecundidad de la propia realidad. Desde este punto de vista, la transformación matemática, no es sino una copia de la modificación física que debe ser explicada, lo que excluye que la razón, confinada en su búsqueda de lo idéntico, pueda explicar el cambio propiamente dicho. Vimos (vol. I, cap. III, § 4) la dificultad de esta tesis en el terreno matemático. Ahora bien, con respecto al razonamiento físico, la dificultad es similar, aunque en este segundo caso, la variación exterior esté dada en la práctica y en el tiempo, antes de la transformación operatoria encargada de reconstruirla por deducción. En efecto, a pesar de esta última circunstancia, no sólo la explicación del físico se refiere en forma simultánea a la transformación y al invariante, sino que, además, y esto es lo más importante, la elección del invariante está vinculada con el sistema operatorio que sirve para explicar la propia transformación. Desde este punto de vista, un principio de conservación es mucho menos la manifestación de una búsqueda de lo idéntico, que la expresión de una asimilación del conjunto de las transformaciones dadas, a operaciones cuya conservación o identidad constituye la condición necesaria, aunque no suficiente para la razón.

A este respecto, aunque la conservación de la materia, tal como los antiguos concibieron este invariante a partir de la elaboración de los esquemas atomistas, depende en primer término de operaciones meramente lógicas o cualitativas, el principio de inercia, por el contrario, es altamente revelador en sus conexiones con el conjunto de la cinemática galileana y del mecanismo cartesiano, porque constituye el primer principio específico de conservación impuesto por la matematización moderna de lo real. En la física intuitiva y antimatemática de Aristóteles, el movimiento se inicia y termina igual que una actividad viviente, originada por una fuerza interna y orientada hacia una meta: de ahí la necesidad de recurrir a un motor para cada movimiento, y de atribuir una causalidad al espacio, que atrae cada objeto a su lugar propio. Pero desde el momento en que el problema consiste en matematizar los movimientos y sus velocidades del mismo modo

que el espacio, la composición operacional que así se busca supone necesariamente un invariante en el que pueda basarse la variación: el invariante, por ende, no se postula por sí mismo (en cuanto identidad), sino en cuanto condición de la variación. Esto aparece con particular claridad no sólo en el pensamiento de Galileo y en el de Descartes, sino también en el contraste entre sus dos sistemas de interpretaciones. En efecto, los tan atrayentes *Etudes galiléennes* que A. Koyré ha consagrado a la historia del principio de inercia y de la ley de la caída de los cuerpos, nos muestran a la vez el ideal de matematización de la física que profesaba Galileo y las razones de su semifracaso en el intento de deducir el principio de la conservación, del movimiento rectilíneo y uniforme. Es porque la dinámica de Galileo es una "dinámica de la caída": "el movimiento de la caída es el movimiento natural de todo cuerpo abandonado a sí mismo".[21] Como todo cuerpo se ve arrastrado por su peso, Galileo no ha formulado, en realidad, ningún principio de inercia. Pero por el mero hecho de que su problema central consiste en buscar la expresión matemática del movimiento uniformemente acelerado, sin más hipótesis que las necesarias para la composición de este constante acrecentamiento de la velocidad, Galileo abandona sucesivamente la distinción aristotélica entre lo "grave" y lo "liviano" y la explicación por el ímpetu: así, "el movimiento se combina *directamente* con la gravidez",[22] lo que implica la necesidad de una conservación del movimiento y de la velocidad, en cuanto principio de la composición de las aceleraciones. De lo cual resulta que Galileo entrevé el principio de inercia al menos en un punto: en el caso de una bola perfectamente redonda que rueda sobre un plano horizontal, el movimiento continúa eternamente, al no existir causa alguna de detención o de aceleración. En cambio, para Descartes, que piensa en función de la geometría, no sólo el movimiento es, desde el principio, igual que el reposo, un "estado" y no un proceso (a lo que ya había llegado la matematización galileana), sino que la consideración del peso deja de obstaculizar la composición directa de los movimientos: de ello se desprende que todo movimiento adquirido por un móvil lo es a expensas del movimiento de otro, y que todo movimiento perdido es aprovechado por otro (segunda regla del "Mundo"); que todo móvil, aun animado de un movimiento en línea curva, tiende a moverse en forma rectilínea (tercera regla) y que, en general, todo estado, de movimiento o de reposo, se conserva por sí mismo (primera regla). De tal manera, se generaliza la conservación del movimiento rectilíneo y uniforme como principio fundamental, aunque, como vemos, en indisociable correlación con el cálculo posible de las variaciones mismas del movimiento y como condición de la composición de estas variaciones.

En resumen: ya se trate de la primera aproximación realizada por Galileo, en la que la conservación del movimiento constituye la condición

[21] A. Koyré: *Galilée et la loi d'inertie*. Hermann, 1939, págs. 238 y 239 (III, 88 y 89).

[22] A. Koyré: *La loi de la chute des corps. Descartes et Galilée*. Hermann, 1939, pág. 94 (II, 20).

matemática de la composición de las aceleraciones, ya de la generalización cartesiana, en la que la invariancia del movimiento inercial es la condición necesaria para el intercambio de los movimientos, en ambos casos y desde ambos puntos de vista, parcialmente opuestos, el invariante y la variación están unidos en indisoluble mancomunidad, en su carácter de condiciones de la inteligibilidad.

El destino posterior de la cinemática clásica ha ido mostrando todo esto cada vez con mayor evidencia. La conservación del movimiento rectilíneo y uniforme es el invariante del grupo que puede ser construido con las transformaciones llamadas galileanas y permite, por ende, concebir las leyes de la física como invariantes en los sistemas inerciales. Ahora bien, tan claro resulta que esta solidaridad, establecida entre el invariante y las propias transformaciones del grupo, constituye el objetivo fundamental del principio de inercia, que el nuevo principio de conservación del movimiento (cuya consecuencia es también la de volver invariantes las leyes de la física en todos los sistemas inerciales) queda también determinado por el grupo de transformaciones de la cinemática de Lorentz-Einstein, así como el principio de inercia galileano lo es por el grupo de la cinemática clásica.

A este respecto, es interesante señalar que Meyerson, al retomar en su *Déduction relativiste* (págs. 45 y sigs.) la cuestión del principio de inercia, se sienet obligado a modificar en forma sensible su exposición de *Identité et réalité*, igual que el historiador retoca su primer relato para tomar en cuenta nuevos documentos. Muestra muy bien cómo el principio de inercia permite economizar una acción del espacio, en el sentido aristotélico, lo que simplifica muchc la explicación y prepara la relatividad einsteiniana, que generaliza a la vez las relatividades galileana y cartesiana. Pero entonces ¿puede decirse aún que el principio de inercia satisface a la mente sobre todo porque alcanza "la conservación de un concepto? ¿Dicho concepto es, en este caso, el de la velocidad: es la velocidad concebida como sustancia, en el sentido filosófico del término" (*Déduction relat.*, pág. 44)? Comparada con la física de Aristóteles, que sólo conserva conceptos o sustancias (cada una de las cuales puede ser aislada en su nivel particular dentro de la jerarquía de los seres), la cinemática de la inercia nos parece caracterizada, al contrario, en virtud de su completa matematización y de que reúne en uno solo todos los movimientos celestes y terrestres, por la reciprocidad que establece entre el invariante y la variación: no es en su carácter de concepto que se conserva el movimiento rectilíneo y uniforme ni tampoco el reposo, sino porque la elección de tal invariante permite explicar de la manera más sencilla el conjunto de las variaciones de movimientos o de velocidades. El *invariante* seduce así a la razón, no en cuanto a su identidad, concebida en sí misma y aislada del resto del sistema, sino en cuanto desempeña un papel activo y operatorio, que consiste en dar cuenta de la *transformación*. Una vez más, la identidad no tiene aquí sentido, sino en función de la totalidad móvil de un grupo de transformaciones.

En cuanto al principio de la conservación de la energía, ¿qué seducción podría ejercer sobre la razón, si sólo se tratara de la "conservación de un concepto", puesto que el concepto es intraducible a cualquier lenguaje que

no sea el de las integrales, y que por mucho tiempo sólo ha caracterizado *diferencias* de estados? No hablamos de todo lo que la imaginación antropomórfica o biomórfica de los energetistas del siglo xx ha extraído de este concepto, porque la filosofía de la energía no tiene afinidad alguna con la conservación de la relación matemática que lleva el mismo nombre. Hablamos del concepto surgido históricamente del principio de las fuerzas vivas, y destinado a formular, en forma de ecuación, la relación entre el incremento de la fuerza viva de un cuerpo en movimiento y la disminución del potencial de las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo. ¿Quién no ve aquí, una vez más, la solidaridad inicial entre la conservación y la transformación, puesto que la energía cinética producida en el curso de ésta se ve compensada exactamente por un cambio igual, y de sentido contrario, de la energía potencial? Los meyersonianos dirán que se trata de la identidad. Desde luego, pero solidaria con una transformación operatoria a la que hace posible: ¿por qué disociar entonces la transformación operatoria en dos partes opuestas y decretar que la mente interviene sólo en el signo de igualdad, en oposicón al conjunto de las operaciones entre las cuales dicha igualdad, esto es, la sustitución, no es sino una entre tantas otras? La victoria de la mente consiste, por el contrario, en haber logrado incorporar una serie empírica de cambios, que permanecen irracionales mientras son intuitivos, en un sistema racional de operaciones reversibles, y, una vez más, la conservación sólo es el invariante que sirve para generar la composición. Lo mismo ha ocurrido cada vez que se ha extendido el principio de la conservación de la energía, hasta una de sus formas recientes, en que bajo la influencia de la teoría de la relatividad restringida, se ha podido reunir en parte la conservación de la masa con la de la energía y, sobre todo, atribuir a este último concepto el valor de un absoluto y ya no de una diferencia. ¿Pero qué clase de absoluto? La energía de un cuerpo en reposo, por ejemplo, o energía de reposo, es igual al producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de la velocidad de la luz, es decir, se trata otra vez de una relación, pero invariante (la energía de reposo no interviene si un cuerpo entra en movimiento bajo el influjo de una fuerza, y en ese caso la energía en cuestión es otra vez una diferencia): una vez más, el invariante es, por ende, solidario con el sistema total de las transformaciones operatorias que aquél vuelve posibles y que lo ponen a su vez de manifiesto.

Pero las transformaciones operatorias sucesivas que han permitido componer todas las fuerzas, hasta poner de relieve ese invariante común que es la energía, han llegado a subrayar la existencia de un dominio particular en el que lo real se enfrenta con la reversibilidad operatoria y en que los cambios de forma de la energía aparecen como esencialmente irreversibles: el segundo principio de la termodinámica parece desafiar la interpretación operatoria del primero. Ocurre que si la irreversibilidad del incremento de entropía no contradice la conservación de la energía, es porque traduce simplemente la intervención de un braceo, y la mezcla es, aquí como en todas partes, una fuente de irreversibilidad. Veremos justamente (capítulo VI) en qué medida la génesis de la idea del azar es

solidaria con el desarrollo operatorio del pensamiento matemático y físico y cómo el cálculo de probabilidades permite asimilar la mezcla objetiva misma a un sistema de combinaciones que son otra vez operatorias. La reversibilidad de las operaciones reaparece, por ende, hasta en el cálculo de la irreversibilidad efectiva.

En resumen, la función de la conservación consiste por lo tanto, siempre y en todas partes, desde el pensamiento espontáneo del niño hasta los principios científicos más depurados, en permitir la construcción operatoria de las transformaciones por sí mismas: la conservación sólo constituye el invariante de la composición, y la identidad como tal es meramente una operación del grupo de las transformaciones cuyo sentido principal es su capacidad de generar nuevas transformaciones con el producto de las operaciones iniciales. La identidad por sí misma sólo es una abstracción; y lo racional se reconoce por la totalidad del sistema operatorio del que aquélla forma parte y no solamente por uno de sus elementos.

6

EL AZAR, LA IRREVERSIBILIDAD Y LA DEDUCCION

Gracias a los principios de conservación el sujeto aplica a la realidad los mecanismos reversibles que constituyen sus propias operaciones racionales y confía en que las modificaciones del objeto se adapten a esa reversibilidad que caracteriza a la inteligencia misma, en oposición a la acción elemental. Desde el punto de vista psicogenético, cuando descubre la posibilidad de invertir sus acciones (las de reunir, desplazar, etc.), el sujeto alcanza simultáneamente a agruparlos en operaciones y a concebir la conservación de las propiedades objetivas considerándolas a su vez producidas por transformaciones reversibles.

En efecto, los fenómenos mecánicos son reversibles en cuanto las ecuaciones permanecen ciertas si se cambian todos los signos de los vectores. De esta manera un movimiento es reversible, como lo es también una composición de fuerzas. El tiempo mecánico mismo es reversible: si se toman en cuenta únicamente trayectorias que pueden ser prefijadas, masas y fuerzas (siempre que se haga abstracción de hechos termodinámicos, biológicos o psicológicos), se puede invertir el sentido de los movimientos y cambiar el signo de la sucesión temporal sin alterar las leyes mismas.

Es cierto que esta reversibilidad mecánica, que los físicos son tan afectos a tomar como prototipo de los procesos reversibles en oposición a los fenómenos termodinámicos, no es idéntica a la reversibilidad lógica o matemática, como tampoco lo es una igualdad física a una geométrica o aritmética. La realidad material, como lo dijera Duhem [1] con profundidad, no es jamás enteramente reversible: puede ser invertible, lo que no es lo mismo, pues para invertir un proceso aun puramente mecánico, hay que hacer intervenir fuerzas nuevas, no contenidas en el mecanismo cuyo sentido se invierte. No por eso es menos cierto que, para el pensamiento, el hecho mecánico es invertible en el sentido en que dos magnitudes físicas son igualables o un conjunto de elementos reales es enumerable, es decir, que mediante la intervención de acciones intencionadas (desplazamientos, etc.) puede ser invertido, como pueden ser igualadas las magnitudes o enumerados los elementos.

[1] P. Duhem: *Introduction à la mécanique physique*. París, Carré, 1893.

Ahora bien, entre los grandes principios de conservación hay uno cuya historia ha mostrado que, si bien corresponde a un invariante, comparable a los otros en cuanto emana como ellos de operaciones reversibles del pensar lógico-matemático, no corresponde sin embargo a una reversibilidad física o a una "invertibilidad" del tipo de los demás: me refiero a la conservación de la energía. En un pasaje muy citado Leibniz ya sostuvo que la fuerza viva mv^2, al expandirse en un cuerpo elástico, no vuelve a encontrarse bajo la misma forma de antes, y comparó esa dispersión de la fuerza con el cambio de dinero en moneditas. Desde entonces la "degradación" de la energía en calor ha mostrado que tal fraccionamiento, en efecto, no es reversible, es decir, que si bien la energía se conserva, al ser fraccionada desciende por una pendiente que no puede remontar en sistema cerrado porque el fraccionamiento se acompaña de braceo.

En efecto, es sabido cómo esta dirección en sentido único de la energía térmica en su difusión, que se mide por lo que Clausius denominó entropía, ha encontrado una explicación, a partir de Boltzmann, cuya importancia es esencial desde el punto de vista de la historia del pensamiento: esta irreversibilidad se debe a la mezcla, o sea que, a diferencia de los procesos mecánicos cuyos sistemas de movimientos constituyen cadenas simples y aislables de secuencias causales, en los procesos termodinámicos se produce un entrevero general. Ahora bien, esa mezcla, o esa "interferencia de series causales", como decía Cournot para definir el azar, es irreversible por la simple razón de que no hay más "series", es decir, secuencias simples, y de que la mezcla como efecto global ya no puede considerarse resultado de una operación: al separar lo mezclado uno se da cuenta de que el camino de regreso es más largo y laborioso que el de ida. Lo irracional (no en el sentido de "lo diverso" de Meyerson, referente a la tesis de la identificación, sino en la acepción común del término), es decir, el desorden parece instalarse en el interior del hecho físico, lo que hace pensar que quizá lo no operatorio intervendría así en la ciencia misma.

El problema epistemológico planteado por tales comprobaciones es tanto más general por cuanto, según lo desarrolló Max Planck en páginas esclarecedoras, la clasificación esencial de los hechos físicos no puede basarse en los opuestos clásicos (mecánica y electrodinámica, etc.) que se han acercado poco a poco, pero bien puede apoyarse sobre la diferencia mucho más importante entre fenómenos irreversibles y reversibles: "Estoy convencido de que en el futuro los fenómenos físicos se dividirán en dos grandes clases, los fenómenos reversibles y los fenómenos irreversibles". "En las ecuaciones diferenciales de los fenómenos reversibles... se puede cambiar a voluntad el signo algebraico del tiempo". Además "obedecen integralmente, como lo demostró Helmholtz, al principio de la menor acción", lo que "permite dar soluciones cuantitativas exactas a los problemas correspondientes". En cuanto a los fenómenos irreversibles, el principio de la menor acción ya no es suficiente porque su "propiedad más general" es "la de tender hacia un estado final definitivo".[2] Tales son los procesos de

[2] M. Planck: *Introductions à la physique*. Trad. Duplessis de Grenédan. Flammarion, págs. 20 y 21.

difusión, la teoría cinética de los gases, los fenómenos de fricción, etcétera.

De ahí surge el problema, o más bien los dos problemas combinados que esta situación presenta a la epistemología genética: ¿cómo nace la idea de azar si la mezcla constituye lo opuesto de lo operatorio, y cómo las operaciones de la inteligencia logran superar este obstáculo y asimilar el azar mismo? Sobre el primer punto se sostendrá, a primera vista, que el azar por ser refractario a lo operatorio sólo podrá provenir de la experiencia misma. Pero las cosas están lejos de ser tan simples. Todos sabemos cuán tardía ha sido la aparición de la idea de azar, ignorada por los "primitivos" y rechazada por la ciencia durante un tiempo bastante largo. Se responderá que, por ser irracional el azar, el pensamiento científico naturalmente comenzó por querer negarlo, buscando al principio en la naturaleza solamente aquello que correspondía a las operaciones más simples de la inteligencia. Hay algo de cierto en eso, pero todavía estamos muy lejos ya que la mentalidad primitiva y el propio sentido común, ambos poco racionales, no aceptan por lo tanto la idea de azar y que sólo en función de los progresos de la deducción tal concepto ha terminado por volverse claro y nítido.

El status genético, por así decir, de la idea de azar está lleno de paradojas. En efecto, al estudiar el funcionamiento de la inteligencia y de la percepción, nos hemos visto inducidos a admitir que los hechos mentales así como los físicos se clasifican en reversibles e irreversibles, es decir, que hay acciones exactamente invertibles y otras que no lo son: así la inteligencia y sus operaciones, una vez formadas, son reversibles, mientras que la motricidad elemental (hábitos), la percepción, la inteligencia infantil en el nivel intuitivo, etc., son irreversibles. Pues bien, resulta que son precisamente las formas de pensar reversibles las únicas aptas para crear los conceptos del azar y de lo irreversible; por el contrario, las formas de acción y de pensar irreversibles son incapaces de aprehender en la práctica o de representarse las formas de la realidad irreversibles como ellas. Por lo tanto, una vez más, debemos partir de la génesis psicológica exacta de las ideas o intuiciones para comprender el destino y la función de las ideas de azar y de probabilidad en la historia del pensamiento científico.

1. La génesis de la idea de azar. Los conceptos de azar y de mezcla irreversibles sólo se construyen en estrecha correlación con su contrario, es decir, con las operaciones ordenadas y reversibles. Estas ideas constituyen, entonces, modelos de conceptos inteligibles o racionales, pero referidos a realidades irracionales que la razón asimila sin destruir y comprende como irracionales quitándoles únicamente aquellas características de que fueran investidas indebidamente por el yo (en particular por la afectividad) antes de esta asimilación.

Es realmente notable que el niño permanezca insensible al concepto de azar mientras su inteligencia sea incapaz de composición operatoria. Por supuesto resulta comprensible que la idea de azar, en el plano verbal, siga ausente de una representación preoperatoria del universo que se

conformará con recurrir a ideas de crecimiento y de fuerza vital, de fabricación intencional y de finalismo en general, para explicar los fenómenes que sólo una composición de los elementos estáticos o de los movimientos podría elucidar racionalmente: todo tiene su razón de ser en un universo formado de cuerpos, vivos y fabricados a la vez, y por esa exclusión como a priori de todo azar, los "por qués" del niño son formulados con tanta frecuencia como si las realidades más fortuitas para nosotros permitieran una explicación a la vez causal y finalista.[3] Pero tales representaciones verbales, es decir referidas a dominios que escapan a la acción directa del sujeto, no implican de hecho la negación del azar en la esfera de la acción misma, y en efecto, el reconocimiento de relaciones "aleatorias" es mucho más precoz en este campo de la acción que en el de la representación del mundo en general. Cabe destacar que ni siquiera en lo concerniente a la acción como tal, el concepto de azar aparece antes de las construcciones operatorias reversibles, a pesar de constituir en cierto sentido su contrario. He ahí la paradoja sobre la que debemos insistir.

Tomemos como ejemplo la intuición de un conjunto de elementos materiales mezclados; constituye seguramente el prototipo de lo fortuito y de lo irreversible. Presentemos al niño una caja rectangular, abierta e inclinada, cuya parte inferior está ocupada por una hilera de bolitas rojas seguidas de algunas blancas. Hagamos bascular la caja e intentemos prever el orden en que se volverán a colocar las bolitas: ¿se mantendrán las blancas juntas del mismo lado y las rojas del otro, o se producirá una mezcla? ¿Intensificarán la mezcla los movimientos sucesivos de báscula o sucederá lo contrario? Y un número creciente de movimientos ¿conducirá a un desorden *máximo* o a un retorno fatal al orden inicial? ¡Cosa curiosa! En el nivel del pensamiento todavía irreversible, carente de composición operatoria, el niño cree en una vuelta necesaria al punto de partida (resultado de un primer corrimiento cruzado general de bolitas rojas y blancas, y luego de otro, en sentido inverso) mientras que, al volverse reversible su pensar (alrededor de los siete-ocho años, o sea a la edad de la construcción de los primeros "agrupamientos" lógicos, del grupo de números enteros, de la conservación de cantidades de materia, etc.), el niño cree en una mezcla creciente como caso más probable, y en una simple posibilidad de retorno, pero sólo como caso particular fortuito y muy poco probable. Solamente hacia los 11-12 años se vuelve capaz de analizar el mecanismo real de la mezcla al concebir el conjunto de trayectorias simultáneas de todas las bolitas como un sistema de entrecruzamientos producidos por choques, es decir, como un juego más o menos complejo de interferencias reductibles a una secuencia de permutaciones.

Con este primer ejemplo la paradoja aparece con toda claridad. En el nivel en que él es todavía incapaz de efectuar operaciones reversibles, como las de juzgar iguales las distancias AB y BA, o de invertir un orden ABC. . .

[3] Véase nuestra obra sobre *Le langage et la pensée chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. v de las dos primeras ediciones, cap. vi de la tercera.

en otro ...CBA, etc., un sujeto estima muy natural el retorno al orden inicial de cierta cantidad de bolitas mezcladas, como si la mezcla constituyera una operación directa cuya inversa sería lo que el propio niño llama "desmezcla". En cambio, en los niveles en que se vuelve capaz de operaciones reversibles concretas, y luego formales, el sujeto comprende la irreversibilidad de la mezcla, y más tarde, su naturaleza combinatoria. En realidad, la contradicción no es más que aparente pues, para el pensar intuitivo de los pequeños, el retorno al punto de partida después de la mezcla no tiene en absoluto el valor que tendrá una operación inversa en los adultos: cuando los pequeños no consiguen, por ejemplo, invertir un orden ABC... en el orden ...CBA, esto se debe a que el segundo orden representa ante su vista un estado de importancia equivalente al estado ABC... y que lo anula; de ahí la dificultad de invertir un estado en otro; por el contrario, la mezcla, comprobada empíricamente, de bolitas bien separadas al comienzo, no es de ninguna manera para ellos un "estado" o un orden comparable al primero y susceptible de anularlo: es simplemente un desorden momentáneo o un accidente que no excluye la existencia, en las bolitas, de una especie de tendencia a volver al orden. Hay, en tal caso, retorno al punto de partida porque hay incomprensión de la naturaleza de la mezcla y porque el orden inicial no ha cesado de ejercer su acción: el sujeto se mantiene, por así decirlo, intuitivamente ligado al orden inicial como a un estado privilegiado. En cambio, solamente cuando las operaciones reversibles son construidas en otros campos, el sujeto logra distinguir lo que en la realidad es reversible o irreversible.

Los experimentos con sorteos confirman también la ausencia del concepto de azar en el nivel preoperacional y su aparición cuando se forman las operaciones reversibles. Así, por ejemplo, colocando en una bolsita una bolita blanca, cinco rojas, 10 verdes y 15 azules, pedimos al sujeto que él mismo sacuda la bolsita para asegurar la mezcla y que luego prevea el resultado más probable de extracciones sucesivas de una o varias bolitas. Los pequeños razonan como si no interviniera mezcla alguna y como si las cantidades en cuestión no desempeñaran ningún papel necesario: ellos prevén, por ejemplo, la salida de las bolitas en el mismo orden de la tabla de distribución indicada (y dejada a su lado como ayuda-memoria): la primera extraída será una bolita blanca, después una roja, etc. También podemos jugar a cara o cruz: presentamos al sujeto unas veinte fichas marcadas con una cruz en un lado y con un pequeño círculo en el otro. Después de haber hecho prever y luego comprobar el resultado obtenido al lanzar las fichas, de a una o todas juntas, vaciamos sobre la mesa el contenido bien revuelto de una bolsita que contiene solamente (sin que el sujeto lo sepa) fichas con una cruz en cada lado. Los pequeños, sin embargo, no ven ningún milagro en eso: "todas se dieron vuelta del mismo lado", etc.; en el nivel de las operaciones concretas, el sujeto, al contrario, ya sospecha de entrada la intervención de una causa ajena a los hechos iniciales y ¡da vuelta una de las fichas para ver lo que había ocurrido! El estudio de las distribuciones uniformes (gotas de lluvia que caen en

pequeña cantidad sobre una superficie cuadriculada), o el centrado (curva de Gauss resultante del escurrimiento de granos desde un embudo), da lugar a las mismas comprobaciones: es solamente hacia los siete-ocho años cuando una cierta intuición de las probabilidades atestigua la elaboración del concepto de azar.

El análisis de esas reacciones muestra sobre todo por qué tiene ese carácter tardío la formación de la idea de azar. La construcción de ese concepto supone, en efecto, la diferenciación sistemática entre diversos planos de modalidad, tales como lo posible y lo necesario, lo más o lo menos probable, etc. Y bien, la composición operatoria de las acciones es la única capaz de conducir al reconocimiento de secuencias necesarias (por ejemplo, "si *x* es A, es necesariamente B") o lógicamente posibles (por ejemplo, "si *x* es B, entonces es A o A' ") y, por ende, a su diferenciación de las simples comprobaciones de hecho. Pero, una acción aislada sólo conduce a anticipaciones más o menos seguras aunque relativamente indiferenciadas desde el punto de vista objetivo: se caracterizará, entonces, por matices subjetivos que van desde la certeza hasta la incertidumbre, y esta última por ignorancia de las causas y no por la representación de sus interferencias posibles, así como por la imaginación de caprichos o intenciones arbitrarias y no por la comprensión del azar. Por ejemplo, ¿lloverá durante el día? La anticipación es incierta, sea porque el sujeto cree en causas ocultas, sea porque siente los elementos dotados de cierta libertad: "la lluvia debería venir, pero no quiere hacerlo este verano", dirá un campesino poco instruido. De modo que la acción aislada no es suficiente para la elaboración de modalidades indispensables a la idea de azar: por un lado, lo imprevisto que ella está obligada a admitir no coincide con lo imprevisible, lo cual supone un análisis operatorio de secuencias causales o de conexiones lógicas entretejidas; por el otro lado, permanece ajena a la idea de distribución de conjunto porque esta idea, correlativa con la imprevisibilidad de resultados de sorteos, supone una composición de todas esas compensaciones posibles y no sólo el sentimiento de una necesidad, en cierta manera moral, que se observa en las primeras formas subjetivas de prever la compensación. Por esta razón, en los niveles preoperatorios del pensamiento, el sujeto no comprende ni la mezcla (en la cual se supone que se conserva un orden ficticio), ni la irreversibilidad (el retorno al orden inicial se debe a la permanencia de su acción), ni la imposibilidad de "milagros" como la unanimidad reiterada de caras o cruces en el transcurso de jugadas sucesivas.

Por el contrario, correlacionado con la formación de las operaciones lógico-aritméticas, el concepto de azar comienza a esbozarse al caracterizar los sistemas no componibles e irreversibles, en oposición a las primeras coordinaciones operatorias reversibles. Así, a medida que los desplazamientos se vuelven susceptibles de ser agrupados según operaciones definidas, la interferencia de esos movimientos es concebida como si culminara en una mezcla, es decir, en un sistema de composiciones mal determinadas a causa de los encuentros fortuitos. Asimismo, el sujeto que domine la adición y sustracción lógicas ($A + A' = B$ o $B - A' = A$), sabrá que, si se extrae un individuo B cualquiera, éste podría ser A o A', quedando

indeterminada esta especificación con respecto a la determinación de las operaciones binarias (A + A' o B — A o B — A'). El niño distinguirá, entonces, las relaciones necesarias (como ser "si *x* es un A, también es un B"), de las relaciones de simples posibilidades ("si *x* es un B, puede ser A, aunque también puede ser A' ").

Ahora bien, si la formación de las primeras operaciones concretas lleva así al descubrimiento de ese residuo, no componible de una manera completa e irreversible, residuo constituido por lo fortuito, éste comienza por presentar características sobre todo negativas: es, ante todo, lo que se resiste a las operaciones y lo que permanece imprevisible en el detalle. En cuanto al aspecto positivo del azar, es decir, a las relaciones entre las distribuciones en el conjunto, se esboza en parte desde el mismo nivel, pues la intuición de la mezcla se asocia pronto con la de las disposiciones y de sus configuraciones globales. Pero lo propio de esas distribuciones de conjunto y de las mezclas de distintos tipos, que caracterizan el azar, es constituir composiciones no aditivas, no asimilables por medio de operaciones lógico-aritméticas o espacio-temporales elementales, y pertenecer en cuanto sistemas totales a operaciones combinatorias de permutaciones, combinaciones, arreglos, etc., operaciones no ordenadas, y entre las que sólo algunas se realizan comúnmente en el conjunto de los casos posibles. Estas operaciones resultan ser de carácter más complejo que las precedentes y necesitan la intervención del pensamiento formal porque constituyen, psicológicamente, operaciones de segundo grado u operaciones sobre varios sistemas a la vez: así es como las permutaciones de varios objetos A, B, C, D, etc., suponen no sólo las seriaciones simples ABCD..., ACBD... etc., que ya son operaciones, sino además la seriación de todas las seriaciones posibles, construidas por medio de esos objetos. En efecto, el estudio de la adquisición por el niño de estas operaciones combinatorias nos ha mostrado que éstas no son efectuadas por él de un modo sistemático (ni siquiera cuando se refieren a objetos materiales e independientes de toda fórmula) hasta después de los 11-12 años, es decir, exactamente en el nivel de las operaciones formales.

Se deducen de esto dos consecuencias importantes en lo que concierne a los orígenes de la idea de probabilidad. En primer lugar, por falta de esas operaciones combinatorias, el sujeto que ha llegado al nivel de las operaciones concretas no acierta a formarse ciertos juicios de probabilidad salvo en los casos elementales en que sólo intervienen desigualdades simples, por ejemplo, entre partes insertadas en un mismo todo y no en un conjunto de combinaciones variadas. Presentemos al sujeto una bolsa con dos bolitas blancas (= A) y una roja (= A') preguntándole cuál es el color que saldrá con más probabilidad, si se extrae un solo elemento de ese conjunto (sea A + A' = B). En el nivel preoperatorio (o sea antes de los siete años) se daría preferencia al color rojo, puesto que sólo se extrae una bolita y en la bolsa hay sólo una bolita roja (A'): a las ideas de mezcla y de extracción fortuita se opone, por ende, la idea de una afinidad entre la unicidad del elemento elegido y la del color rojo. En cambio, en

el nivel de las operaciones concretas, el niño apuesta en favor del color blanco (puesto que A > A'): la inclusión operatoria de las partes A y A' en el todo B lo impulsa, en efecto, a establecer una relación entre las partes del todo y le permite entonces hacer una estimación de la probabilidad, basada en esa relación cuantitativa, en la cual no pensaban los pequeños por falta de un razonamiento en función del conjunto. Pero este probabilismo naciente es insuficiente en el caso de los sistemas de carácter combinatorio. De aquí surge un segundo hecho que debemos señalar en el nivel de las operaciones concretas: falta de una comprensión de la ley de los grandes números.

Tomemos, por ejemplo, un disco dividido en sectores iguales y una aguja giratoria, fijada en el centro del dispositivo de tal manera que pueda detenerse en uno cualquiera de los sectores. Los sujetos de siete a once años, a diferencia de los pequeños, llegan fácilmente a comprender que la aguja tiene tantas probabilidades de posarse sobre un sector como sobre los demás y que habrá, por consiguiente, una dispersión uniforme de los puntos de parada sobre los diferentes sectores. Además, esos sujetos prevén que, cuando un sector gana sobre los demás, un mismo número de ensayos no reproducirá la misma distribución y que, en líneas generales, habrá compensación. ¡Hecho curioso, sin embargo! Cuando se trata de decidir si la distribución es más homogénea para 20 - 30 vueltas, para 100 o para 1.000, etc., los mismos sujetos se niegan a generalizar la idea de compensación entre los grandes números. Igual ocurre con el juego de cara o cruz: la igualdad de caras y cruces es probable para unos treinta ensayos; pero nada se podría prever en cuanto a 100 ó 1.000. Todo sucede como si el sujeto aplicara la ley de grandes números únicamente a "grandes números pequeños" que llegan hasta 20 ó 30, pero declinara toda responsabilidad en cuanto a la regularidad de los ensayos cuando el número de éstos crece indefinidamente. Sin embargo, el problema se explica fácilmente por la falta de una generalización formal: ante la carencia de operaciones combinatorias y de la noción métrica de las proporciones necesarias para evaluar las relaciones de probabilidad, el sentimiento incipiente de las compensaciones probables no puede extenderse más allá de pequeños conjuntos manejables.

Con la comprensión de las operaciones formales combinatorias, en cambio, es decir desde el nivel de las operaciones formales que comienzan hacia los doce años, el azar mismo queda asimilado o reducido, por así decirlo, por las operaciones: si cada jugada en un sorteo o cada choque aislado en una mezcla se concibe como indeterminado, se considerará sin embargo como una de las combinaciones realizables en el interior del conjunto, y cada combinación real será interpretada en tal caso como una parte definida de la totalidad de las combinaciones posibles. El juicio de probabilidad, determinado y fundado así sobre la comprensión del conjunto como tal del sistema (con el juego de las compensaciones crecientes en función de los grandes números), constituye una especie de revancha de la operación contra el azar, puesto que la determinación operacional de

la totalidad se concilia con la indeterminación de los procesos elementales aislados. El azar deja por ende de estar revestido de poderes surgidos de la afectividad egocéntrica ("suerte" o "mala suerte", intenciones ocultas bajo las apariencias fortuitas, etc.) para volverse transparente a la razón. Su irracionalidad se reduce al carácter incomponible de los enfrentamientos elementales en sí, porque la probabilidad de una combinación particular está referida al conjunto de las combinaciones posibles y sólo constituye una fracción de certidumbre, es decir una determinación parcial: pero la certidumbre o la determinación enteras se vuelven a encontrar en lo que se refiere a la totalidad del sistema de las posibilidades que están en juego.

En conclusión, se ve entonces cuán ligada está la génesis de la idea de azar, como comprensión gradual de la irreversibilidad, con el desarrollo de las operaciones reversibles, simplemente concretas al principio, luego combinatorias y formales por abarcar la totalidad de lo posible. Si en definitiva la irreversibilidad es atribuida a los casos más probables del conjunto de combinaciones posibles, es porque estas combinaciones constituyen en sí operaciones reversibles.

2. El concepto de azar en la historia del pensamiento precientífico y científico. Si en verdad, desde el punto de vista genético, la idea de azar no puede aparecer antes de la constitución de las operaciones reversibles elementales y si, por otra parte, las operaciones combinatorias nacidas al margen de la idea de lo fortuito se reflejan poco a poco en ella integrándola en nuevos esquemas de composición, entonces esa doble conexión será tal que permitirá aclarar varios aspectos de la historia del probabilismo en el pensamiento precientífico y científico: explicará, primero, el carácter tardío del reconocimiento del propio azar y, segundo, el carácter aún mucho más tardío de la constitución de una teoría de las probabilidades físicas.

Los hermosos trabajos de L. Lévy-Bruhl han mostrado cuán ajena permanece la "mentalidad primitiva" a la idea de azar. Sin duda, no tenemos todavía información suficiente sobre la inteligencia técnica del primitivo y sobre su comportamiento con respecto a lo fortuito en la práctica de los actos cotidianos (dispersión en los tiros al blanco, etc.). En la representación del universo, empero, para el primitivo nada ocurre al azar, porque todo es manifestación directa o simbólica de poderes ocultos. El accidente, la desgracia, la enfermedad, no son productos de la interferencia de secuencias causales independientes, es decir, de una mezcla de objetos o de sus acciones, sino que expresan, sin más, una intención secreta y la intervención de fuerzas invisibles que tienden con tanta mayor seguridad hacia sus fines. En rigor no se necesitan largos análisis para comprender que, tanto en el primitivo como en el niño, la incomprensión del azar se debe a la ausencia de operaciones reversibles. En efecto, para admitir la interferencia de series causales independientes, hace falta la capacidad para elaborar tales series y para construirlas lo suficientemente largas y complejas como para que puedan desarrollarse, independientes las unas de

las otras, hasta llegar a cruzarse sin razón intrínseca. Y bien, la construcción de series que satisfagan estas condiciones supone, con seguridad, la colaboración de operaciones reversibles tales como la seriación temporal, la inserción de las partes en totalidades jerarquizadas, etc. Pero sabemos que la mentalidad primitiva se resiste, precisamente, a tales operaciones deductivas: tanto la lógica de la participación como la aritmética de los números "calificados", etc., son índices suficientes para un nivel puramente intuitivo y preoperacional del pensamiento, y se comprende entonces que la irreversibilidad de semejante estructura intelectual excluye la construcción de los conceptos de azar.

En la física de los presocráticos, que desde sus orígenes atestigua composiciones operatorias concretas (los esquemas de condensación y rarificación, la conservación de la sustancia y el atomismo resultante, las composiciones numéricas y espaciales, etc.), las ideas de irreversibilidad y de mezcla aparecen correlativamente, y en función de este progreso operacional, como lo demuestran los fragmentos de Heráclito ("No puedes bañarte dos veces en el mismo río porque siempre son nuevas las corrientes en tu alrededor" y "el uno está compuesto de todo"); pero en él, como en todos los presocráticos, este reconocimiento de lo irreversible y del azar está equilibrado por las ideas de compensaciones (los opuestos en guerra son complementarios) y, sobre todo, por las del eterno retorno (el gran año), es decir, por un orden subyacente, en un sentido que más parece residuo de niveles preoperatorios que composición combinatoria.

En Aristóteles, el azar está consagrado, con claridad, como realidad objetiva (τύχη), pero es su indeterminación la que constituye su carácter principal, sin referencia a una composición probabilística. El azar es el tipo de efecto sin causa final, es decir, de accidente, y como tal se incluye con los movimientos "violentos" y las resistencias de la materia a la forma entre los fenómenos "contra natura" que Aristóteles colocaba al margen de la física en el sentido estricto; sin embargo, su valor es esencial en la física contemporánea.

En cuanto a la física moderna, es muy interesante comprobar cuán tardía ha sido la introducción del probabilismo en los campos propios de la física experimental y de la física matemática, por oposición a la matemática propiamente dicha (el cálculo de probabilidades). En un pasaje curioso, Cournot, cuyo sentido histórico rara vez falla, atribuye sin embargo este retraso al azar mismo: "Sólo es de lamentar que el desarrollo [de la teoría de los juegos de azar] haya venido tan tarde, en épocas muy modernas y cuando en tantas otras cuestiones la mente humana ya había adquirido su modalidad o su posición. Este retraso mismo es puro efecto del azar pues nada impedía que un griego de Cos o de Alejandría tuviera por las especulaciones sobre las chances, el mismo gusto que por las especulaciones sobre las secciones del cono".[4] En realidad, para que la idea de azar pudiera ser reconocida siquiera, faltaba por de pronto que las composiciones opera-

[4] A. A. Cournot: *Matérialisme, vitalisme, rationalisme*, pág. 229.

torias estuviesen lo suficientemente aseguradas en el pensamiento colectivo espontáneo, como para permitir la toma de conciencia de lo que constituye su antítesis: esto es lo que ocurrió con los presocráticos y Aristóteles. Pero después, para que la idea de azar penetrase en el dominio físico bajo su aspecto positivo o probabilístico, era necesario que el instrumento matemático constituido por las composiciones combinatorias estuviera ya forjado. Mas los griegos no consideraban el álgebra como una ciencia y concebían la matemática como una contemplación de entes aritméticos o geométricos acabados pero no combinados en modo alguno. No es fortuito, entonces, que el probabilismo físico haya tenido que esperar los "tiempos muy modernos" para tomar cuerpo y sobre todo que haya sido precedido por un probabilismo simplemente algebraico, condición necesaria para la comprensión del papel que desempeña el azar en las leyes físicas.

Dicho esto, comprobamos sin asombro que la mecánica clásica todavía no se prolonga en modo alguno en una mecánica estadística. Sin embargo, un Galileo, un Descartes, un Leibniz o un Newton conocen el azar mejor, por cierto, que Aristóteles. Pero lo desdeñan como él, aunque por otras razones. Para Aristóteles, el azar está fuera del campo de la física "natural" porque no depende directamente de la finalidad de la naturaleza. Para los fundadores de la mecánica clásica, el azar carece simplemente de interés por la sola razón de que ellos procuran reducir la naturaleza a movimientos elementales y regulares, mientras que un proceso fortuito es en esencia complejo y desordenado. Se dice que Newton descubrió la idea de gravitación al observar la caída de una manzana, pero descartó enseguida del movimiento de esa manzana sus aspectos aleatorios y sólo retuvo el enfoque principal constituido por la gravedad. Si la caída de una manzana, de una rama o de una hoja no lo indujeron a mediar sobre la complicación indefinida de todos los movimientos reales y la interferencia de series causales, fue porque concebía el azar como un enredo sin interés por sí mismo (lo que es válido para la escala considerada por la mecánica clásica) de movimientos idealmente simples, únicos objetos dignos de la reflexión científica. De hecho, hubo que esperar hasta el siglo XIX para que, al oponerse a una explicación mecánica, la teoría cinética de los gases y el estudio del calor impusiesen las ideas de irreversibilidad y de azar, y éstas pudiesen adquirir carta de ciudadanía en la ciencia física propiamente dicha.

Mientras tanto, como ocurre tan a menudo, los matemáticos forjaban sin sospecharlo el instrumento indispensable para el análisis de los hechos físicos de esa categoría: al elaborar el cálculo de combinaciones y probabilidades con motivo de los juegos de azar, Pascal en 1654 al retomar los trabajos de Lucas Paciulo (1494), Fermat, Leibniz, Huyghens, y después Jean de Witt, en 1671 (a propósito de las rentas vitalicias), Jacques Bernouilli (*Ars conjectandi*, 1713), Moivre (*Doctrine of Chances*, 1718) y muchos otros han enseñado a la mente a razonar en forma combinatoria y

probabilística, en un terreno muy restringido, es cierto, en cuanto a aplicación,[5] pero muy vasto desde el punto de vista teórico.

Una vez elaborado el instrumento matemático, aparecieron espíritus que comprendieron —en la física teórica o matemática bastante antes que en las aplicaciones a la física experimental— que el concepto de combinaciones probables podía aplicarse a las mezclas de partículas y a las interferencias de movimientos, tan abundantes en la realidad material. Mientras tales braceos seguían careciendo de interés para la mecánica clásica, orientada enteramente hacia el análisis de lo simple y elemental, fueron convirtiéndose, bajo la influencia del cálculo de combinaciones, en objetos de reflexión y de análisis. Ya en 1738, inspirado a la vez por el cálculo de probabilidades de Fermat y por la mecánica cartesiana, Daniel Bernouilli mostró, en su *Hydrodynamica* "qué instrumento podría encontrar una teoría mecánica del calor en la consideración matemática de una multitud de choques entre las moléculas de un gas".[6] Empero, todavía eran meras especulaciones de un precursor.

Gracias a la teoría cinética de los gases y, sobre todo, al análisis de las relaciones entre movimiento y calor, esas consideraciones teóricas se afianzaron en la realidad experimental. En efecto, el análisis probabilístico de la realidad física misma se impuso porque, con el principio de Carnot-Clausius, el concepto de mezcla ya no implicaba sólo una interferencia de movimientos digna de interés en sí, sino que culminaba en un resultado cualitativamente diferente del de las composiciones mecánicas de movimientos simples: la propagación del calor es en efecto irreversible. Esta irreversibilidad de la mezcla es la que ha consagrado su especificidad y su derecho a ser objeto de un estudio separado y particular; su descubrimiento constituye, por ende, el viraje decisivo en la aplicación del probabilismo a la física.

Es bien sabido cómo Sadi Carnot, en sus *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824), se planteó el problema general de la producción de movimiento por el calor, y cómo descubrió, basándose en la imposibilidad del movimiento perpetuo, que esa producción no era tan simple como su inversa, pero que ella suponía la intervención de por lo menos dos fuentes y de una diferencia de calor entre ellas (comparable a una diferencia de nivel). De ahí la famosa fórmula de Clausius que pone de manifiesto la irreversibilidad propia de un proceso de esta índole: el calor no pasa de un cuerpo frío a otro caliente. Y bien, el gran interés epistemológico del análisis de Clausius consiste en que no sólo ha demostrado la compatibilidad del principio de Carnot con el de la conservación de la energía, sino que además ha demostrado la irreversibilidad en el proceso de degradación de la energía, es decir, del aumento de la "entropía", por medio de razona-

[5] Limitado por lo menos al campo científico, pues filosóficamente la famosa "apuesta" de Pascal tiene forma probabilística. En cambio, en las *Provinciales* Pascal combate el probabilismo moral de los jesuitas sin entrar en aproximaciones con su probabilismo matemático y religioso.

[6] L. Brunschvicg: *L'expérience humaine et la causalité physique*, pág. 371.

mientos basados en la misma reversibilidad. De modo que encontramos aquí un caso particular de la ley que parece general en la evolución de los conceptos probabilísticos: así como la idea de azar ha nacido por antítesis a partir de las ideas operatorias, reversibles por lo tanto, y sólo puede ser pensada por intermedio de operaciones combinatorias (igualmente reversibles), así también la idea de la irreversibilidad física ha surgido por antítesis partiendo de nociones mecánicas reversibles (imposibilidad del movimiento perpetuo de segunda especie) y sólo puede ser pensada en operaciones reversibles.

En efecto, Clausius parte de un ciclo cerrado que puede ser considerado como la sucesión de una infinidad de modificaciones ínfimas y, por medio de semejante sistema reversible, muestra, en el caso de las modificaciones térmicas, la intervención necesaria de "transformaciones no compensadas" cuando se hace pasar el sistema de un estado a otro. Las diferencias calculadas de este modo caracterizan entonces la "entropía" del sistema, concepto cuyo conocimiento sólo depende del estado inicial y del estado final. Pero, como dijera Duhem, con mucho acierto:[7] "De esta manera la modificación reversible es *una secuencia de estados de equilibrio; es esencialmente irrealizable*. Un sistema puede someterse a semejante modificación sólo por el pensamiento." Pero, aunque este concepto de modificación reversible sea "ciertamente muy abstracto", ... "es imposible tratar la termodinámica sin usarlo de continuo". Planck también se expresa en lenguaje igualmente categórico: "Conforme a la definición original de Clausius, la entropía se mide mediante cierto ciclo reversible. La debilidad de esa definición consiste en el hecho de ser absolutamente imposible producir un fenómeno estrictamente reversible": "no se trata de procesos reales ejecutados por un físico real, sino sólo de experimentos ideales, puramente imaginarios, por así decirlo, que solamente un físico ideal podría realizar". Y Planck agrega enseguida que en química física los experimentos "ideales" que uno se permite hacer son bastante más aventurados aún. No obstante, "es sorprendente ver en estas condiciones que los resultados experimentales confirman, a pesar de todo, semejantes audacias teóricas".[8] En resumen, se comenzó por calcular el incremento de la "entropía", o sea el modelo del proceso físico irreversible, mediante sistemas ideales reversibles.

Para escapar a esa reversibilidad física "ideal", condición necesaria para la comprensión de la irreversibilidad concreta, y para desentrañar la razón verdadera de esa misma irreversibilidad, los sucesores de Clausius recurrieron al probabilismo. Después que Maxwell y J. W. Gibbs fundaran la mecánica estadística al reducir la termodinámica a cuestiones de probabilidad de choques y velocidades, Boltzmann concibió el aumento de la entropía como un simple resultado de combinaciones y de la mezcla creciente de los elementos: la entropía se volvió así proporcional al logaritmo de la probabilidad de un sistema. Pero se ve enseguida que, de esta manera,

[7] P. Duhem: *Introduction à la mécanique chimique*, 1893, pág. 96.

[8] *Initiations à la physyque*, págs. 23-24.

la irreversibilidad termodinámica, aunque adquiera entera inteligibilidad por estar orientada hacia los estados más probables, sólo es asimilada por la razón no ya gracias a ciclos reversibles ideales, sino gracias a operaciones igualmente reversibles e ideales, puesto que se trata de combinaciones y permutaciones.

Examinemos al respecto la interesante "explicación de la irreversibilidad por las probabilidades" que nos da Ch. E. Guye.[9] Supongamos 10 partículas blancas de polvo y 10 partículas negras; primero se las alinea de manera que los dos conjuntos queden separados; luego se las sacude y se las vuelve a colocar de modo que estén otra vez alineadas: la probabilidad de reencontrar diez partículas blancas y diez negras en dos conjuntos diferentes es sólo de 1/184.756, es decir, que la probabilidad de una mezcla en forma de un polvo gris es muy superior a la de retornar a un estado similar al inicial. "Se comprende desde ya por qué el fenómeno sólo evoluciona en un sentido, y la razón de su irreversibilidad".[10] Sin duda, pero esta irreversibilidad fundada sobre la probabilidad sólo es explicada como caso particular, o subclase particular, de un conjunto de permutaciones, o sea de transformaciones u operaciones reversibles: en rigor, el sistema es reversible en el pensamiento, es decir, unas 184.756 vueltas alcanzarán para restablecer una vez el estado inicial; pero, de hecho, la mezcla es irreversible, pues en la realidad los estados más probables prevalecen y los menos probables son desdeñables. Dicho en otros términos, el sistema es otra vez "idealmente reversible" aunque irreversible en la práctica.

Señalemos por fin que, si bien la degradación de la energía constituye un proceso irreversible, éste tiende sin embargo hacia un estado reversible, puesto que ese estado final es un estado de equilibrio, y un equilibrio se define por su reversibilidad (las pequeñas modificaciones que permanecen posibles una vez alcanzada la entropia *máxima* de un sistema son en efecto reversibles en la práctica). Además, el segundo principio de la termodinámica explica los equilibrios químicos: por ejemplo, la ley de la acción de masas se basa sobre ese principio y también sobre las leyes de los gases; asimismo los "desplazamientos de equilibrio" que obedecen al principio de Le Châtelier dependen del principio de Carnot-Clausius. De modo que nos encontramos de nuevo con procesos parcialmente reversibles o reacciones orientadas en el sentido de la reversibilidad.

En su conjunto, las realidades físicas irreversibles se reducen así a fenómenos de mezcla y, por ende, de azar; pero la mezcla misma sólo se comprende mediante operaciones reversibles, y la irreversibilidad asimilada a un fluir de lo menos a lo más probable se ve siempre acompañada por una reversibilidad parcial.

3. Operaciones reversibles y realidad irreversible: la mezcla y los conceptos de totalidad no aditiva y de historia. Conviene desde ya tratar de extraer la enseñanza epistemológica suministrada por estas

[9] Ch. E. Guye: *L'évolution physico-chimique*, pág. 38.
[10] *Ibid.*, pág. 41.

explicaciones, tanto de la mezcla como de los estados de equilibrio, fundadas sobre la orientación hacia lo más probable, ya que de esa enseñanza dependerá la significación del probabilismo en general (incluido, como lo veremos enseguida, el problema de la inducción misma).

Como acabamos de ver, el proceso de mezcla progresiva nos presenta la situación paradójica de constituir un modelo de desarrollos irreversibles y de ser explicado mediante operaciones rigurosamente reversibles. En el ejemplo de las partículas alineadas (diez blancas y diez negras), vemos cómo el fenómeno real se orienta del modo más probable hacia una mezcla que da la impresión de ser un polvo gris, y sin embargo, la demostración de esa irreversibilidad probable es basada por Ch. E. Guye en un sistema de permutaciones, es decir, de operaciones reversibles que forman entre sí un "grupo" operatorio muy conocido. ¿Cómo explicar esta unión y, sobre todo, esta concordancia entre la operación reversible y lo real irreversible?

Por de pronto, cada sacudida aplicada al dispositivo provoca un movimiento general de los 20 granos en forma tal que cada una de las trayectorias, examinada aisladamente, se complica por una serie de choques y desviaciones que la operación no puede trasuntar; pero el resultado de esos desplazamientos puede ser disociado de éstos y traducido de un modo perfectamente adecuado por las operaciones de permutación que describen los cambios de posición de las partículas de un color con respecto a las del otro. De modo que la diferencia entre el mecanismo operacional reversible y la mezcla irreversible no se refiere a una cualquiera de las operaciones consideradas por separado. En cambio, cada secuencia de modificaciones reales, expresable por una operación adecuada, sí manifiesta una oposición esencial con respecto a las transformaciones operatorias. ¿Habrá que decir entonces que esta oposición se debe al hecho de que las operaciones de permutación son efectuadas sistemáticamente por el matemático que las deduce, mientras que los cambios de posición reales en la mezcla, que corresponden a esas operaciones, se desarrollan sin orden, al azar y a la manera de los sorteos? Esta diferencia por sí sola no alcanza puesto que dos permutaciones cualesquiera dan también una permutación de conjunto: el orden consecutivo no importa, pues, tanto más que al ser asociativas las permutaciones siempre pueden llegar a un mismo resultado por vías diferentes. Por el contrario, una segunda diferencia agregada a la primera constituye una diferencia fundamental. El cálculo de las permutaciones es reversible y sólo forma un "grupo" siempre que sea completo, es decir, que se refiere al conjunto de todas las permutaciones posibles para un sistema determinado; en cambio, las modificaciones concretas en el orden de las partículas sólo constituyen algunas realizaciones particulares dentro del conjunto de esas posibilidades (y justamente esa relación entre las realizaciones consideradas y el conjunto de las transformaciones posibles es la que define la probabilidad). Luego, el carácter incompleto de las permutaciones sorteadas en el conjunto de las permutaciones posibles es el que constituye la diferencia principal entre la mezcla irreversible y la secuencia

de permutaciones ordenadas en el "grupo" de las operaciones reversibles correspondientes.

Retomemos, desde este punto de vista, la frecuente comparación entre el movimiento de líquidos que tienden hacia un mismo nivel en un sistema de vasos comunicantes, y la igualación de temperaturas entre un cuerpo caliente y otro frío. Se sabe que "una energética propicia a generalizaciones demasiado prematuras", como dice Planck,[11] ha querido combinar esos dos fenómenos y explicarlos por un solo "principio del devenir". Sin embargo, son bastante diferentes; pues, mientras el nivel del agua oscila alrededor de su punto de equilibrio con una velocidad máxima, las temperaturas tienden a igualarse con una velocidad cada vez menor; y, sobre todo, mientras el primero de esos dos fenómenos es reversible (al suprimir toda pérdida de energía por resistencia de aire y fricción, el líquido oscilaría indefinidamente alrededor de su posición de equilibrio), el segundo es irreversible, es decir, en definitiva, "si el líquido fluye de un nivel superior a uno inferior, hay una necesidad, pero si el calor pasa de una temperatura elevada a otra más baja, hay sólo una probabilidad".[12] Entonces, en este ejemplo, ¿cuál es la diferencia entre la reversibilidad necesaria y la irreversibilidad probable?

Las oscilaciones del nivel del líquido son reversibles porque las relaciones en juego (desplazamientos del líquido, determinados por las formas regulares de los recipientes, y composición de las fuerzas de gravedad) son simples y pocas, y pueden ser agrupadas así en ecuaciones con las que se corresponden por completo: estas mismas, empero, se reducen a operaciones reversibles. Si se tratara de determinar los movimientos de cada molécula de agua, el problema sería, claro está, completamente distinto, y recaeríamos en un sistema de combinaciones probables; mas, al ser el agua enfocada en su totalidad como objeto único y los movimientos de conjunto de este objeto total, determinados desde afuera por la gravedad y la forma de los recipientes y no por los diversos movimientos internos e interferentes de las moléculas, resulta que estas relaciones de conjunto son las que dan lugar a las conexiones y a las operaciones reversibles. En cambio, en el problema del calor cuyo equilibrio es función de la mezcla interna progresiva, caracterizada por su probabilidad, el sistema de los movimientos y de las permutaciones elementales en cuestión, que rige en tal caso el proceso global en lugar de mantenerse independiente de él, implica una cantidad inmensa de operaciones posibles: su realización completa requeriría un tiempo del orden de los años-luz (recordemos las 184.756 permutaciones necesarias para separar diez partículas negras y diez blancas): las transformaciones efectivas representan entonces sólo una fracción muy pequeña de las operaciones posibles; si bien éstas son, con toda seguridad, reversibles si se les asigna el número y el tiempo requeridos, aquéllas permanecen irreversibles por su mismo carácter incompleto. Por ser escasas,

[11] *Introductions à la physique*, pág. 56.
[12] Planck, *ibid.*, pág. 56.

en comparación con las transformaciones posibles, las modificaciones reales se producirán en efecto dentro de las clases más probables y esta sola limitación ya explica su irreversibilidad.

En pocas palabras, las operaciones son reversibles porque abarcan todo lo posible, mientras que lo real es irreversible en la medida en que es un mero sorteo entre esas posibilidades. Donde lo real está constituido, en escala macroscópica, por objetos globales que presentan entre sí una cantidad de relaciones próxima de la prevista por el sistema de operaciones (dicho de otro modo, donde la estructura de esos objetos corresponde a las líneas ideales de la acción que podemos ejercer sobre ellos), la realidad misma se presenta en forma aproximadamente reversible. Pero cuando lo real se complica por un detalle que escapa a toda acción aislable por nosotros, constituye una mezcla que sólo representa una fracción mínima de esas combinaciones posibles con respecto a las operaciones combinatorias; tal tipo de realidad permanece irreversible.

Se podría agregar, aunque esta segunda manera de expresar las cosas equivale a la primera, que las operaciones expresan todo lo posible en forma de relaciones simultáneas o, más bien, extemporáneas (cuando no son efectuadas materialmente una por una, como lo supusimos unas líneas atrás, sino condensadas en fórmulas lógicas o matemáticas) mientras que los sorteos, al constituir lo real, son necesariamente parciales por ser sucesivos y excluyen, por consiguiente, la posibilidad de reencuentros que no se producirán nunca más. De este modo, en una mezcla, cada choque ocasiona desviaciones en las trayectorias: pues bien, esas trayectorias, aun desviadas, son reversibles en principio, en cuanto se podría obligar a una molécula a recorrer su camino en sentido contrario y a invertir su choque con otra, etc. Por otra parte, si con un dispositivo adecuado se lograra que una molécula volviese sobre sí misma, la otra ya habría sido despedida desde hace tiempo por nuevos encuentros que excluyen la reiteración de los antiguos. Tampoco en este caso los sorteos propios de lo real agotan lo posible, porque lo posible es extemporáneo, mientras que aquéllos son sucesivos y crean una duración por su fragmentación misma (a propósito, la duración termodinámica se define por esas características de irreversibilidad originadas por los bracços sucesivos).

Con esta explicación de la irreversibilidad propia de la mezcla, basada en las limitaciones de lo real con respecto a las operaciones combinatorias posibles, se puede elaborar además, una interpretación de una de las diferencias más importantes, en el enfoque de ciertas epistemologías contemporáneas, entre los diversos sistemas naturales. Existen, en efecto, sistemas de una composición llamada aditiva, en que la suma de las partes o de las operaciones elementales es idénticamente igual a la totalidad del sistema.[13] Estos sistemas expresan entonces más o menos la estructura de un grupo de operaciones reversibles. Pero hay también sistemas de composición

[13] Lo que no implica en modo alguno que estos elementos puedan existir en estado aislado, por ejemplo: la sucesión de los números o una inclusión de clases.

llamada no aditiva en que la totalidad contiene más que la suma de los elementos, lo que los hace irreducibles a una estructura de grupo. Por ejemplo, en microfísica, la energía total E de un sistema cuyas dos partes componentes tienen una energía E_1 y E_2, será $E = E_1 + E_2 + \varepsilon$ siendo ε la energía de intercambio que se agrega a las energías componentes. Del mismo modo la distribución de las cargas eléctricas en el interior de un conductor homogéneo y aislado es tal que cada carga particular es modificada por el conjunto: la sustracción de una parte conducirá entonces a una remodelación general del todo. Está claro pues que, así como la composición aditiva traduce el carácter reversible de un sistema de transformaciones bien agrupadas, así en cambio la existencia de totalidades diferentes de la suma de las partes, que distingue las composiciones no aditivas, expresa el carácter simplemente probable e irreversible de esos sistemas. En efecto, la composición es no aditiva en la medida en que las modificaciones de un sistema constituyen transformaciones probables, porque el todo resulta en este caso de la multiplicación de las probabilidades: la totalidad del sistema entonces no puede consistir en una simple adición de las partes, puesto que la determinación de éstas es suministrada por una relación entre cada una de ellas y no por el todo observado en realidad, aunque lo es por la totalidad de los casos posibles. Esta es la razón porque en todas partes donde haya mezcla, difusión, fricción, etc., la configuración del todo no puede componerse a partir de los elementos y al mismo tiempo se caracteriza por calidades de conjunto irreducibles por ser esencialmente estadísticas. Esto es válido no sólo para el mundo físico, sino también para la biología, la psicología y la sociología, y ha dado lugar a las interpretaciones más variadas (y no siempre probabilísticas) hasta la moderna "teoría de la Gestalt".[14]

Pero hay más aún. En la medida en que el equilibrio de un sistema resulta de una composición aditiva y expresa, por consiguiente, la estructura reversible de un grupo de operaciones, las condiciones de este equilibrio son permanentes. Por el contrario, donde el equilibrio del sistema resulta de una composición no aditiva, es decir, simplemente probable (o sea incompleta, si se admite lo dicho anteriormente), la forma de ese equilibrio, al constituir un estado parcial y provisoriamente reversible, será sólo momentánea, y la intervención de factores nuevos producirá lo que se denomina "desplazamientos de equilibrio": dicho de otro modo, el nuevo equilibrio es regido por condiciones distintas de las del precedente. Y bien, esos desplazamientos de equilibrio obedecen a un principio célebre, llamado principio de Le Châtelier, que puede enunciarse como sigue: "cuando varía uno de los factores de los que depende el equilibrio estable de un sistema, esa variación produce una modificación que tiende a anular, precisamente, el efecto del cambio".[15] Dicho en otros términos, aunque no

[14] Véase W. Koehler: *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*, Erlangen, 1920, y la discusión de la teoría de la Forma que hemos esbozado antes (vol. I, cap. II, § 3).

[15] Por ejemplo, si se estira una barra metálica por tracción, se enfría: este enfriamiento tiende entonces a producir una contracción que se opondrá al alargamiento de la barra.

haya en tal caso reversibilidad completa, habrá sin embargo reversibilidad parcial, lo que significa justamente que el sistema tiende hacia un nuevo equilibrio; pero esta tendencia no alcanza para mantener un equilibrio permanente (asegurar el retorno a la forma inicial del equilibrio) porque la reversibilidad no es completa, y no lo es a causa de la naturaleza meramente probable de los procesos en juego, en oposición a un mecanismo operatorio enteramente determinado.

Todo esto nos conduce a examinar un concepto fundamental en los dominios de la probabilidad que ya desempeña un papel apreciable en las ciencias físicas y que adquirirá una importancia día a día más amplia en los terrenos biológicos y psicosociológicos: el concepto de historia. Cournot, quien lo empleó como uno de los pivotes de su sistema, observó acertadamente que una "historia" habría que situarla a medio camino entre el azar y la determinación. Un mecanismo enteramente determinado, como los movimientos de los planetas alrededor del sol, no constituye una historia sino un simple desarrollo causal. Una sucesión puramente fortuita, como lo es una secuencia de sorteos efectuados con una colección de esferas negras y blancas, tampoco constituye una historia, porque aquí cada acontecimiento es independiente de los que anteceden y de los que siguen. Hay historia, en cambio, cuando los acontecimientos son parcialmente fortuitos debido al entrecruzamiento de las series causales, aunque dependan en parte los unos de los otros como en el primero de los sistemas.

En el lenguaje que hemos adoptado, esto quiere decir entonces que una historia es un compromiso entre ciertas transformaciones reversibles y cierta mezcla irreversible. Uno de los mejores ejemplos de una verdadera historia que se pueden citar en el campo físico-químico, es la sucesión de los acontecimientos geológicos, como la historia de una cadena alpina o de una cordillera, un desarrollo cuyo modelo fue expuesto magistralmente por E. Argand bajo el nombre de "embriología alpina". En efecto, en el origen de la formación de los Alpes se halla el acercamiento de Africa y de Europa, conforme a la teoría de "la deriva de los continentees" de Wegener, que se basa en la existencia de ciertos fenómenos mecánicos como los movimientos de sólidos sobre masas fluidas en rotación,[16] es decir, en procesos idealmente reversibles. Pero los sedimentos de Tetis (o antiguo Mediterráneo) comprimido de ese modo, rechazados en una napa continua en expansión sobre las costas europeas, adoptaron allí una configuración determinada a causa del encuentro fortuito de esas olas con los zócalos anteriores de las formaciones hercinianas (los macizos del Pelvoux, Mont-Blanc, Aar, etc.). Por otra parte, el entrevero creciente de las napas de arrastre origina otra parte al azar aunque su movimiento obedezca a leyes mecánicas bien determinadas. Más tarde, el metamorfismo de las rocas por contactos fortuitos (digestión de los calcáreos por el ácido silícico, etc.) y, por fin, la erosión introducen nuevas combinaciones entre procesos bien regulados y

[16] Fenómeno cuyas ecuaciones elaboró R. Wavre. Véase R. Wavre: *Figures planétaires et géodésie*. París, Gauthier-Villars, 1932, en especial págs. 184 y sig.

mezclas imprevisibles. En su totalidad, una historia como la de los Alpes se caracteriza pues por una línea de conjunto claramente dibujada y en parte deducible y, a la vez, por un entrecruzamiento inextricable de detalles que sólo se puede describir reconstruyendo uno por uno los acontecimientos y haciendo ciertas generalizaciones, basadas, no obstante, en la mayor o menor probabilidad de aquéllos.

Así, según que predominen en una historia ciertos elementos determinados y reversibles o la mezcla fortuita, se pueden distinguir diferentes tipos de desarrollos históricos. Conviene señalar, empero, que esos desarrollos se aproximan al modelo de las "evoluciones dirigidas", en tanto predomine la mezcla pura enfocada globalmente (como en el caso de la degradación de la energía o el aumento de la entropía), o el factor reversible u operacional (como en la historia de las nebulosas regida por las leyes gravitacionales o en algunas evoluciones biológicas o psicosociológicas, como la de la inteligencia, caracterizada por una reversibilidad progresiva de las conductas). Entonces, una "historia", en el sentido estricto de la palabra (como la de la Tierra o de los Alpes), debe ser situada también entre esos dos extremos.

Por cierto, se comprende de entrada la importancia considerable que tienen todos esos conceptos, como ser, mezcla irreversible, totalidad de composición no aditiva, desplazamiento de equilibrio y de historia, para el mecanismo del conocimiento y en particular para el del propio razonamiento. En efecto, se puede deducir un sistema de composición aditiva y reversible, no así una historia, compuesta por acontecimientos que no se repiten. Se puede deducir en parte un fenómeno estadístico cuando el análisis de todos los casos posibles y la intervención de los grandes números aseguran una determinación suficientemente exacta de probabilidades elevadas; pero esto es cada vez menos posible a medida que nos acercamos al detalle. Los distintos conceptos que acabamos de recordar son solidarios entre sí, tanto respecto del conocimiento como de la realidad, porque su rasgo común es el de abarcar los modos de composición incompletos. Una mezcla progresiva implica, en efecto, una composición no aditiva por falta de realización total del conjunto de combinaciones posibles; esta irreversibilidad induce la intervención de desplazamientos de equilibrio y de un desarrollo histórico, otra vez por falta de esa composición completa que sólo las transformaciones reversibles pueden garantizar. De esto se infiere que en todos los dominios la deducción falla en parte. En efecto, resulta evidente que la deducción será tanto más legítima cuanto más se asemejen los mecanismos sobre los que ella opera a un sistema completo de transformaciones componibles, y que lo será tanto menos cuanto más consistan en mezclas o desarrollos históricos, es decir en sorteos incompletos con respecto a todo lo posible. ¿Cuál es entonces el modo del pensamiento que procura alcanzar lo real en esta zona tan importante, situada entre el hecho contingente y las transformaciones componibles conforme al modelo de las operaciones reversibles? Este es el problema de la inducción planteado así inevi-

tablemente por el probabilismo y puesto en el centro de toda epistemología física.

4. Los problemas de la inducción experimental. Varios teóricos del pensamiento científico no pronuncian más la palabra inducción, y un físico declaró hace poco que si bien había aprendido en la escuela la existencia de tal inducción, nunca más se sirvió de ella: solamente la deducción matemática y el experimento que provee las medidas serían los únicos instrumentos del pensamiento físico. Sin embargo, el problema del azar complica las cosas, pues aunque sea evidente que existe una teoría matemática de las probabilidades, que es enteramente deductiva, su aplicación a lo real presenta, no obstante, aspectos diferentes de los de otras estructuras formales: mientras la deducción común da forma a los hechos (por ejemplo, la aceleración uniforme para la caída de los cuerpos), el análisis probabilístico determina su grado de constancia (permitirá, por ejemplo, considerar como fortuitos los movimientos de caída no uniformemente acelerados y establecer que la curva de dispersiones está centrada precisamente sobre esta aceleración uniforme). Sin duda, esa determinación de las probabilidades también culmina en formas (la forma de las curvas de dispersión o de las funciones aleatorias, etc.), pero el problema reside en otra cosa, puesto que entonces se trata de disociar, en el interior de una mezcla de secuencias múltiples, el invariante de lo fortuito. Por el hecho mismo de que la realidad física constituye un conglomerado complejo en el que las leyes no se dan nunca en estado simple, sino que se interfieren en grados diversos, y en el que dominios enteros son regidos por el azar, sin que se conozca de antemano la eventual existencia de leyes simples debajo de lo fortuito, la investigación experimental supone necesariamente dos momentos: primero, un pasaje de los hechos a la ley, cuyo problema esencial consiste en aislar ciertas relaciones (constantes o probables) en el conjunto entreverado de los datos, y sólo después una estructuración o formalización de las leyes en sus relaciones mutuas. Si todos están de acuerdo en llamar deducción a esta segunda etapa o etapa superior del trabajo de interpretación propia del físico, se puede conservar el término inducción para designar la etapa preliminar: la inducción sería entonces el pasaje de los hechos a las leyes o, si se prefiere (pues no existe diferencia alguna en la naturaleza de los hechos y de las leyes), la comprobación de los propios hechos en sus generalidades respectivas.

Pero entonces, si la inducción sólo es lo que precede y prepara la propia deducción, habría que saber previamente si es un razonamiento o simplemente un método; y, en este segundo caso, si todo no sería en definitiva deducción, siempre que se distinguiera una deducción relacionada con los hechos y otra teórica o abstracta. En este sentido es legítimo dudar hoy día de la utilidad de hablar de inducción: el primero de los problemas de la inducción es saber, por lo menos, si existe.

Se sabe que no siempre ha sido así y que la lógica clásica distinguía dos clases complementarias de razonamientos, unos que proceden de lo general a lo particular o, como se dice ahora, a lo singular (deducción) y

otros, de lo singular a lo general (inducción). Pero esta simetría falsa debió ser abandonada. La primera dificultad reside en que no todos los razonamientos generalizadores son inductivos, pues el razonamiento matemático, modelo de deducción, procede comúnmente de lo singular a lo general o de lo más especial a lo más general. Es cierto que Poincaré se mantuvo fiel a la terminología tradicional, pero para distinguir la inducción matemática de la experimental calificó de "completa" a la primera, conforme al uso: pues bien, esta distinción es altamente significativa y deja entrever que, si la inducción completa es en realidad una deducción, la inducción propiamente dicha bien podría ser una especie de deducción incompleta. Por eso Whewell, Couturat, Goblot, etc., se niegan a llamar inducción a cualquier razonamiento que sea riguroso, lo que equivale a reservar ese término para los razonamientos cuya conclusión es sólo probable. Mas, sin considerar las cuestiones de uso tratadas por A. Lalande,[17] el carácter sólo probable de las conclusiones de un razonamiento no es motivo para excluir su carácter deductivo, y la logística contemporánea construyó con Reichenbach y otros, modelos "polivalentes" para colocar el razonamiento probabilístico en un plano deductivo comparable al de la deducción "bivalente" (que sólo conoce lo verdadero y lo falso). De modo que el análisis de la inducción, como razonamiento propiamente dicho complementario de la deducción, terminó por abolir la dualidad en favor de esta última.

Habiendo renunciado entonces a hablar de la inducción como de un razonamiento específico, se ha hecho de ella un método: método que consiste en basarse sobre los datos experimentales para remediar las limitaciones de la deducción. Pero un método implica razonamientos y éstos, en último análisis, se reducen siempre a la deducción. En efecto, cuando la deducción pura es imposible, y el concurso del experimento sirve de apoyo al razonamiento de conjunto, este mismo concurso implica razonamientos especializados que son otras tantas deducciones.

¿Habrá que dar la razón, entonces, a los que suprimen el término inducción del vocabulario lógico y epistemológico? Dos motivos correlativos lo impiden, al parecer, e inducen a dejar el problema planteado por ese término en el centro de la epistemología genética de la física. El primero de los motivos se relaciona con el propio desarrollo del pensamiento frente a la necesidad de dominar una nueva realidad. Si bien es claro que todo razonamiento cabal es siempre deductivo por necesidad, no es menos cierto que la deducción rara vez puede ser inmediata y realizarse sin un trabajo de elaboración previa o de preparación. En efecto, para poder deducir, hace falta poseer conceptos o esquemas operatorios ya construidos, y su construcción como tal no consiste en un proceso deductivo, puesto que se trata, al contrario, de organizarlos por aproximaciones y tanteos sucesivos hasta tornar posible su libre composición, es decir la deducción final. Pues bien, este trabajo de organización o de construcción de los conceptos y relaciones es el que caracteriza la inducción, lo que mostró bien Dorolle

[17] A. Lalande: *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*, pág. 14. [Hay versión castellana: *Las teorías de la inducción y de la experimentación*. Buenos Aires, Losada, 1944.]

en su pequeña y sustanciosa obra sobre *Les problèmes de l'induction*. Desde este punto de vista, la deducción comienza cuando se puede postular que A implica B, o que, si A implica B, también implica C, mientras que la inducción consiste en buscar cuáles son los datos que pueden relacionarse con otros para que tales implicaciones puedan ser establecidas entre los conceptos construidos de ese modo.

En segundo lugar —y este segundo motivo, genéticamente hablando, es inseparable del primero— el problema de la inducción adquiere sentido ni bien se lo ubica en el terreno de las totalidades operatorias. La verdadera razón de las ambigüedades que han oscurecido la teoría de la inducción se halla, sin duda, en el hecho de que la lógica clásica es atomista y describe los conceptos, juicios y razonamientos como unidades aisladas en lugar de aplicar el análisis a los sistemas operatorios de conjunto. Pero sólo cuando estos sistemas están enteramente articulados en una forma coherente y acabada, se pueden extraer de ellos ciertas articulaciones para hacer prototipos de razonamientos deductivos, como las figuras del silogismo o las de las relaciones genealógicas, etc. Si la inducción no es un modo de razonamiento entre otros, sino un método, entonces corresponde compararla, no con esos razonamientos deductivos aislables, sino con los sistemas operatorios de conjunto de los que aquéllos fueron extraídos. De modo que el problema de la inducción se planteará como sigue: ¿existen sistemas de conjunto, cerrados sobre sí mismos, indefinidamente componibles y reversibles y que caractericen tanto la inducción como la deducción? O bien, por el contrario, ¿acaso el método inductivo sólo se traduce en forma de sistemas incompletos y abiertos que preparan la deducción o la sustituyen en caso de que resulte prácticamente imposible construir sistemas del primer tipo?

Formulado en estos términos, el problema de la inducción es susceptible de una solución clara, desde el doble punto de vista del análisis genético o histórico-crítico y del de los métodos empleados por las ciencias experimentales en las fases de organización de las investigaciones y de descubrimiento. Por un lado, la inducción no permite sistemas operatorios de conjunto acabados y cerrados, comparables a los que admite el ejercicio de la deducción. Pero, por el otro, la inducción sólo es posible cuando ya existen esos modelos deductivos y pueden servir de guías en la investigación. Luego la inducción es el conjunto de procedimientos del pensamiento que procuran organizar los datos de la observación o experimentación, es decir clasificarlos en forma de conceptos susceptibles de inclusiones jerarquizadas, y que procuran establecer relaciones lógicas o matemáticas tales que constituyan sistemas enteramente componibles. Entonces, o bien se logra la inducción con esas tentativas, y en tal caso ésta cede el paso progresivamente a la deducción, o se fracasa al no poder disociar lo invariante y lo fortuito, y la inducción permanece en el nivel de los sistemas cuasi deductivos, aunque inacabados por falta de una composición completa. En ambos casos la inducción consiste en un agrupamiento incompleto, sea porque prepara un sistema deductivo, sea porque lo sustituye; pero no existe diferencia entre los elementos lógicos de la coordinación inductiva y los de los sistemas

deductivos; y la única oposición consiste en el carácter completo o incompleto de la totalidad operatoria.

Desde el punto de vista psicogenético, conviene distinguir con cuidado dos períodos en la formación de la inducción y de sus relaciones con los agrupamientos o los grupos deductivos: 1º, el período anterior a la construcción de los sistemas operatorios, anterior por ende a toda deducción, aun la basada sobre las operaciones concretas: aquí no se podría distinguir la inducción de la deducción pues todavía no existe deducción acabada y todo trabajo constructivo del pensamiento presenta un carácter indiferenciado, empírico y al mismo tiempo semioperacional; 2º, el período (que se inicia a los siete-ocho años) de formación de estructuras operacionales de carácter deductivo (estructuras primero concretas, después formales desde los 11-12 años): con el modelo de estos sistemas acabados la mente procura estructurar más activamente los datos experimentales que se le ofrecen, y la inducción se va diferenciando así de la deducción al desarrollarse en forma de procedimientos inspirados por esta última, pero especializados en función de las resistencias imprevistas de la realidad.

En el transcurso del primer período se pueden hacer varias comprobaciones interesantes en cuanto a la lectura misma de los datos de la experiencia y a las condiciones en que la mente se somete a ellos. Por falta de operaciones deductivas toda construcción intelectual consiste en este nivel en estructurar los hechos de la experiencia y, por ende, en basarse sobre los datos para extraer formas. Por otra parte, como vimos en el vol. I y en éste, caps. I al V, existen dos clases de experiencias si bien siempre mezcladas en diversos grados: está la experiencia que el sujeto hace sobre sus propias acciones y que le permite descubrir sua coordinaciones lógico-matemáticas, y está la experiencia obtenida de las cosas mismas, la que conduce a la abstracción de sus propiedades físicas. Ahora bien, durante el período que estamos examinando, las primeras de esas dos categorías de experiencia son realizadas activa y sistemáticamente; las otras se mantienen ocasionales y mucho más pasivas. Además, como las experiencias del primer tipo atañen precisamente a las formas de acción más generales que preparan las futuras coordinaciones deductivas, se sobreentiende que las conductas intermedias entre la inducción y la deducción, características de tales experiencias, llegarán más directa y rápidamente a la deducción que en el caso de las experiencias del segundo tipo. En el vol. I, cap. III, § 7 vimos un ejemplo de esto, los tres objetos ordenados ABC atravesados por una varilla de metal que se hace girar 180°: por la experiencia el niño descubre la inversión de ABC en CBA y, sobre todo, que el elemento B no saldrá nunca en primer lugar a pesar de un número mayor de rotaciones. Pero, aunque no haya todavía deducción, tampoco se podría hablar de inducción en este caso: hay simplemente indiferenciación entre ambas, y ello ocurre por falta de todo modelo deductivo capaz de guiar una investigación inductiva por un lado y, por el otro, por no poseer una idea suficiente del azar como para poder distinguir lo invariante de lo fortuito. Es así como reacciona el niño ante diversos tipos de órdenes comprobados sucesivamente cuando

se trata de la rotación de la varilla; de la misma manera reacciona ante los sorteos, en presencia de dispositivos descriptos en el § 1 de este capítulo: intenta adivinar por medio de juicios cuya modalidad permanece a mitad de camino entre lo posible y lo necesario, pero lo hace sin criterio lógico u objetivo (espera, por ejemplo, que el elemento B salga a la cabeza "porque es su turno", etc.). En cambio, a partir de los siete-ocho años, el contacto con los mismos datos experimentales relativos al orden da origen a una deducción inmediata, y eso ocurre con el sentimiento de una oposición total con respecto a las permutaciones fortuitas de un juego de azar.

Si pasamos ahora del tipo de experiencia basado sobre la coordinación de las acciones propias del sujeto (y que preparan por ende directamente la deducción) a las primeras experiencias propiamente físicas, es decir a las tomas de contacto entre la inteligencia del niño y el hecho objetivo del que deben abstraerse ciertas características, comprobamos que la manera en que el sujeto registra los datos y los interpreta por aproximaciones sucesivas y tanteos presenta un cuadro muy diferente, y nos acerca más a la inducción. Dos hechos se destacan, en efecto, durante todo el período preoperatorio del desarrollo: la pasividad del sujeto frente al experimento y, sobre todo, la dificultad sistemática en efectuar una simple lectura objetiva de los datos experimentales (de donde se infiere naturalmente que la necesidad de procedimientos inductivos adecuados será tanto mayor ulteriormente, y hasta mucho mayor de lo que se cree en general, para lograr salir de ese estado inicial). Por de pronto, la pasividad frente al experimento se explica por un mecanismo que es fundamental no sólo para el estudio del pensamiento inductivo, sino también para la comprensión de la relación epistemológica general entre sujeto y objeto: al predominar en la mente la tendencia de asimilar toda realidad nueva a esquemas anteriores, la acomodación a la novedad se reduce, al principio, a una modificación mínima de dichos esquemas. Cuando éstos son insuficientes para permitir una acomodación exacta a los datos nuevos, resulta una especie de incapacidad para la lectura y a fortiori para la interpretación de la experiencia, por falta de instrumentos adecuados para el registro mental. Ahora bien, esta ausencia de instrumentos adecuados para una asimilación adaptada se debe, precisamente, al hecho de que falta toda posibilidad de deducción, sea lógica, sea matemática. Desde el punto de vista lógico, se destaca que el sujeto no consigue admitir que un dato nuevo excluya una hipótesis anterior o que una excepción sea suficiente para resistir a la generalidad atribuida a una regla; es entonces por falta de un instrumento deductivo, hasta cualitativo, que la inducción resulta imposible en este caso: ya la lectura en sí de los hechos y después la interpretación son falseadas, porque el sujeto no logra distinguir, ni siquiera en el transcurso de esa lectura, el "todos" y el "algunos", quedando luego incapacitado para una generalización coherente. Por otro lado, en cuanto al punto de vista matemático, la lectura de los datos supondría un conjunto de relacionamientos espaciales y numéricos igualmente inaccesibles por falta de construcción deductiva.

Hemos analizado, por ejemplo, la inducción progresiva de esa ley elemental según la cual el nivel del agua contenida en un frasco se mantiene horizontal en cualquier posición, vertical o inclinada, del recipiente. En este caso se observan las siguientes reacciones: [18] 1º Los sujetos más jóvenes ni siquiera alcanzan a comprobar el hecho, ni por medio de puntos de referencia marcados en los frascos o de reglas que permitan controlar la constancia en la orientación del nivel, ni por medio de diseños apropiados: ellos se imaginan que el agua se inclinará junto con el recipiente y creen ver efectivamente una variedad de inclinaciones. 2º En el transcurso de una segunda etapa hacen el mismo pronóstico pero se dan cuenta en seguida de la falta de concordancia con el dato observado. Sin embargo rechazan sacar cualquier conclusión en cuanto a los experimentos siguientes y consideran que un fracaso no invalida su esquema de interpretación (inclinaciones paralelas a la base del frasco, etc.). 3º Más tarde se observa una especie de transferencia práctica, distinta todavía de la generalización lógica, que consiste simplemente en prever, por razones de economía, la repetición de los mismos hechos y la aplicación parcial de las mismas referencias a inclinaciones ligeramente diferentes. 4º Por fin, pero sólo alrededor de los siete a ocho años, es decir, al final de período que estamos examinando, y sin prever la horizontalidad del líquido en el momento del primer experimento, el niño generaliza de inmediato su observación para los ensayos siguientes.

Estas reacciones instructivas nos muestran en primer lugar que, para lograr la lectura de los hechos, el sujeto debe estar en posesión de esquemas que permitan su asimilación, no en el sentido de una asimilación explicativa todavía, sino en el de un simple reconocimiento del hecho como dato. Es así como para los pequeños que no poseen aún un espacio estructurado según un sistema de coordenadas estables, ni perceptual ni intelectual, la sola comprobación de la horizontalidad resulta imposible pues, para ellos, perceptivamente, la diferenciación entre una horizontal y una oblicua es borrosa, e intelectualmente no comprenden la función de la horizontal y de la vertical en la coordinación de las posiciones (como lo testimonian, con claridad, sus dibujos). La segunda enseñanza que se puede extraer de esas observaciones es que, para vincular un dato percibido con los siguientes (y es en este relacionamiento que consiste, en esencia, la generalización inductiva), se necesita poseer modelos deductivos: mientras no se construyan los agrupamientos operatorios sobre el plano de la coordinación (lógico-matemática) de las acciones, los hechos físicos sucesivamente registrados no podrán ser ligados a fortiori entre sí. Nos movemos así en un círculo: el primer trabajo de la mente, para efectuar la transición del dato a la ley (para lograr, por ende, una inducción), consiste, entonces, en construir nuevos esquemas representativos (a veces hasta perceptuales primero), capaces de permitir el registro de los datos, que no puede realizarse sin

[18] Piaget e Inhelder: *La représentation de l'espace chez l'enfant*. París, PUF, cap. XIII.

ellos; mas, para construir nuevos esquemas, hace falta conectar los datos sucesivos entre sí y, por lo tanto, en primer lugar, registrarlos en forma adecuada. La mente, encerrada en cuanto asimilación por los esquemas anteriores, inadecuados para la novedad, no saldría de este círculo sin un apoyo interior, suministrado precisamente por la organización de la deducción naciente en el campo de las experiencias referidas a la acción propia y a sus coordinaciones lógico-matemáticas. Sea por aplicación directa de esas deducciones incipientes, sea por analogía con ellas, se constituyen las primeras construcciones de esquemas físicos y las primeras generalizaciones, hasta el nivel en realidad operatorio en que la inducción propiamente dicha se vuelve posible al margen de la deducción.

Pero ¿significa esto acaso que la inducción queda enteramente subordinada a la deducción? El examen del segundo período de desarrollo de los procesos inductivos nos mostrará, a continuación, que no ocurre así y que la inducción conserva su originalidad al lado de la deducción estricta. Este segundo período se inaugura pues en el momento en que los agrupamientos operatorios lógicos, así como los grupos aritméticos y geométricos elementales son construidos en el campo de las coordinaciones generales de la acción (campo que dio lugar a las experiencias del primero de los dos tipos que habíamos distinguido al tratar el período anterior). Y bien, en virtud de esta construcción operatoria que hace posible de ahí en adelante la deducción en el plano lógico-matemático, el contacto con los datos físicos conduce ulteriormente a una distinción fundamental que se halla justo en el punto de partida de la inducción misma. Por una parte el sujeto descubre en la realidad relaciones que se prestan a una construcción operatoria y a una deducción, análogas a las estructuras lógico-matemáticas: así es (véase cap. V, § 2) como llega a aprehender la conservación de la cantidad de materia, luego la del peso y la del volumen físico, por analogía con la conservación de los conjuntos lógicos, numéricos o espaciales (en el sentido geométrico). Por otra parte, y en oposición a esas relaciones componibles según nexos reversibles y necesarios, descubre el azar como mezcla irreversible y que se opone a la composición deductiva elemental. El problema de la estructuración en la gran mayoría de los esquemas físicos se va a situar entonces a mitad de camino entre estos dos extremos y dominará, en particular, esa cuestión esencial de la disociación, propia de toda experiencia nueva, entre lo que es invariante y lo que es fortuito. En toda esta región intermedia de lo que no es deducible con evidencia, ni es evidentemente aleatorio, es donde se va a constituir la inducción como estructuración gradual del mundo físico en función de la experiencia con los objetos mismos (y ya no con las acciones). Y bien, sobre este punto el análisis genético aporta resultados muy precisos: si se define la deducción concreta o formal por medio de los agrupamientos lógicos y los grupos matemáticos que coordinan las operaciones en sistemas coherentes, cerrados y reversibles, se puede decir, en líneas generales, que la inducción es el sistema de los razonamientos que concluyen sólo en agrupamientos incompletos, es decir,

que preparan la deducción sin lograrla plenamente. Esto sucede en dos casos principales:

1º Ante todo, hay inducción cuando el sujeto, frente a un complejo de datos físicos no asimilable de inmediato, debe disociar los varios factores inherentes a esos datos y, en especial, lo concerniente al azar y lo que es susceptible de deducciones ulteriores. Por ejemplo, cuando desde puntos de partida variables, se hacen rodar unas bolas de diferentes pesos sobre planos de pendientes diversas para hacerlas remontar luego a lo largo de un plano de inclinación constante,[19] el sujeto se enfrenta con cuatro clases de datos por lo menos: la dispersión de los puntos de llegada de la bola en la subida, el peso de las bolas, la pendiente del plano de descenso y la altura del punto de partida; necesitará entonces, por una parte, disociar lo fortuito en esos puntos de parada, de lo que constituye el punto alcanzado con mayor frecuencia para una inclinación y un punto de partida dados y, por otra parte, excluir la influencia del peso (masa), que no varía, para retener sólo la de las inclinaciones y sobre todo la altura de los puntos de partida; solamente así podrá establecer una relación entre los puntos de llegada y los de partida. ¿En qué consiste entonces, en un caso como éste, la inducción? Está claro que al final del análisis el fenómeno podrá dar lugar a una simple deducción: una vez simplificados por la segregación de los factores, los datos métricos que ya sólo atañen a las inclinaciones y las distancias, podrán incorporarse en ecuaciones y volverán a encontrar las relaciones de aceleración constante que caracterizan la caída de los cuerpos graves. Y no resulta menos claro que, en cada una de las etapas de la investigación, ya intervienen procesos deductivos: es por una composición deductiva de relaciones (puestas en correspondencias diversas) que el sujeto eliminará el factor peso y retendrá la influencia de las inclinaciones y distancias, etc. Pero aunque todo sea deductivo en el detalle de las relaciones establecidas y el punto de llegada, una deducción de conjunto del fenómeno, no deja de ser cierto que esa deducción debe prepararse: el problema esencial, en primer lugar, es disociar y elegir, es decir, ensayar las diferentes composiciones operatorias posibles. Y bien, si cada una de esas composiciones es deductiva, la preparación de esos dispositivos operatorios supone dos condiciones esenciales que en sí no son de carácter deductivo: una serie de ensayos destinados a averiguar si un dato es componible, es decir, deducible o no (según qué forma de composición) y anticipaciones continuas según las cuales cierto fenómeno se repetirá con seguridad al reproducirse las mismas condiciones (principio de la inducción), mientras que otro probablemente no se repetirá (por ser fortuito). En efecto, estas condiciones, por sí solas, no permiten realizar una deducción, pero equivalen, lo que es distinto, una a consultar lo real sobre su deducibilidad de detalle y la otra, a postular la deducibilidad futura.[20] En este

[19] Este experimento forma parte de un conjunto de investigaciones acerca del desarrollo de la inducción actualmente en curso en nuestro instituto bajo la dirección de B. Inhelder.

[20] Véase Lalande: *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*. Boivin, 1929, págs. 234 y 235.

primer caso, la inducción se presenta entonces así: es, por cierto, una preparación para la deducción, pero una preparación por consulta y organización de la experiencia: ella organiza los agrupamientos ulteriores pero no los concluye porque cede el lugar a la deducción a medida que sus ensayos tienen éxito y se limita así a certificar que esa deducibilidad seguirá siendo convalidada por la experiencia futura.

2º Existe en cambio un segundo caso en que la inducción es más duradera: cuando la mezcla es demasiado grande, o cuando los fenómenos permanecen aleatorios y la deducción resulta entonces imposible salvo en lo referente a las distribuciones de conjunto con frecuencias suficientemente elevadas. En tales condiciones las dos características esenciales de la inducción, es decir, la organización de la deducibilidad y la afirmación de su valor futuro, se modifican como sigue: por un lado, se da una reconstitución de los acontecimientos aislados (hechos históricos, etc.) por medio de razonamientos cuyo detalle es siempre deductivo, pero cuya totalidad sólo presenta un sistema incompleto o inacabado; por el otro, tenemos previsión simplemente probable, sin garantía en cuanto a la repetición de las combinaciones particulares, puesto que las combinaciones reales no son sino una fracción de las combinaciones posibles.

Ahora bien, es evidente que esas dos variedades de inducción —una que prepara la deducción final y otra que la sustituye por falta de deducibilidad en el detalle— son las mismas que volvemos a encontrar en las ciencias. En todo nuevo campo abierto a la experimentación física se repite la fase de organización previa en la que todavía no es cuestión de hacer deducciones, sino de buscar, por inducción, aquello que puede ser deducido. Esa selección de los invariantes deducibles en el interior de lo fortuito perdura en todos los niveles históricos del pensamiento científico como lo esencial del método experimental, y es difícil ver cómo se le podría negar una calificación especial puesto que se trata de interrogar lo real por medio de selecciones en el conjunto de las operaciones posibles. Por otra parte, en todo el inmenso campo del azar mismo, la función de la inducción, en oposición a la de la deducción matemática, resulta hoy en día muy clara. Un razonamiento probabilístico puede ser enteramente deductivo cuando se aplica al conjunto de las combinaciones posibles y al cálculo de probabilidades de cada acontecimiento concebido como una fracción de ese conjunto. Por el contrario, en los razonamientos aplicados a la realidad, los casos afectados por una probabilidad mínima se descartan y, como lo mostrara bien E. Borel,[21] toda teoría física de fenómenos aleatorios escoge una cierta escala de aproximación por eliminación de esos casos despreciables. Conviene entonces, en relación con la estructura del pensamiento, introducir una distinción neta entre la teoría matemática de probabilidades, que es rigurosamente deductiva, y el dominio de las probabilidades aplicadas, en que la

[21] E. Borel: "Valeur pratique et philosophie des probabilités" en *Traité du calcul des probabilités*, t. v, fasc. III. Véase también L. Féraud: "Le raisonnement fondé sur les probabilités". *Rev. Mét. Mor.*, 1948, pág. 113.

inducción conserva un valor duradero a causa de las limitaciones propias de la deducción: despreciar los casos muy poco probables implica afirmar que no se producirán jamás en la experiencia, por oposición a las combinaciones deducidas en teoría.

Se ve así la unidad de las dos variedades de la inducción, sea que prepare la deducción, sea que la supla en parte: en cada una de estas dos situaciones la inducción es una construcción de relaciones que no pueden (todavía o nunca) ser agrupadas en sistemas completos, es decir, en sistemas capaces de bastarse a sí mismos en el sentido operacional. Se comprende entonces que, al aislar, en el interior de un proceso inductivo, elementos particulares de razonamiento, éstos sean siempre parecidos a los de un sistema deductivo. Pero, lo que destaca la deducción y lo que falta a la inducción es precisamente el hecho del agrupamiento en un estado acabado, es decir, un sistema completo, cerrado, rigurosamente componible y enteramente reversible. Dicho de otra manera, todo razonamiento que interviene en el transcurso del análisis inductivo es ya un fragmento de deducción pues sólo existen razonamientos deductivos: así, por ejemplo, los famosos cánones inductivos de J. Stuart Mill recurren ya a composiciones deductivas pues, para desembarazarse de las variantes concomitantes, para alcanzar los residuos, etc., es necesario componer relaciones por multiplicación biunívoca o insertar clases compuestas por subclases disyuntivas y complementarias, etc. Mas, ahí sólo existen los fragmentos de una deducción completa ya que siempre se apoyan en la experiencia (no sólo en cuanto a las medidas que sirven de datos a la deducción sino también en cuanto a la validez más o menos probable de las conexiones) y no son integrables todavía en un cuerpo de doctrina lógicamente necesaria. Y bien, esa deducción incompleta —lo que no significa que cada razonamiento en sí no sea riguroso, sino que el conjunto de éstos no llega a constituir un sistema—, o mejor dicho, ese agrupamiento inacabado es el que constituye precisamente la inducción: inacabado provisoriamente cuando las lagunas de la deducción se deben a la ignorancia del sujeto, o de manera permanente cuando las conexiones en juego están objetivamente enredadas por una mezcla fortuita de secuencias causales.

En resumen, la necesidad de recurrir a la inducción depende, entonces, siempre de la intervención del azar o de la mezcla. Frente a realidades aislables y reversibles como los procesos mecánicos elementales, la correspondencia más o menos directa entre los datos objetivos y las operaciones del sujeto produce una composición deductiva rigurosa: en este caso, el fenómeno físico es asimilado a un grupo de transformaciones matemáticas, y la desviación o el "juego" que eventualmente subsiste entre la experiencia y la deducción es reducida al mínimo; la deducción resulta así completa. Comparada con este estado privilegiado, la inducción se caracteriza en cambio por un agrupamiento incompleto de razonamientos o transformaciones operatorios. Cada razonamiento en estado aislado, por otra parte, es comparable al que intervendría en un sistema deductivo completo, pues, una vez más, la inducción no es una forma particular de razonamiento y difiere de los agrupamientos deductivos únicamente por las características

de totalidad propias de éstos. Mas, precisamente en cuanto a totalidad, el proceso inductivo queda inacabado y sin cerramiento porque, en lugar de operar sobre relaciones simples y reversibles, choca con la mezcla: mezcla de datos experimentales no disociados todavía o conceptos aún no diferenciados por falta de un análisis suficiente, en el caso en que la inducción se debe a la ignorancia del sujeto y sólo está preparando la deducción; o mezcla objetiva, en el caso en que la inducción es necesaria por el carácter aleatorio de lo real y suple a la deducción. Así, de una manera u otra, la inducción toma parte en el azar: azar en las diligencias del sujeto dirigidas a la realidad, o azar inherente a la realidad misma.

Es este parentesco íntimo entre la inducción y el azar irreversible, por un lado, así como entre la deducción y los mecanismos reversibles, por el otro, el que permite comprender la paradoja de la inducción y a la vez el modo de ser del así llamado principio o fundamento de la inducción. Así como la irreversibilidad, según hemos visto (§ 1 a 3), sólo puede ser comprendida por medio de operaciones reversibles, la inducción, en definitiva, sólo está compuesta por conexiones deductivas: en ambos casos es el sistema total el que difiere del opuesto, es decir, de los sistemas reversibles o deductivos. De ahí proviene la paradoja de la inducción que es una organización y una anticipación de la deducibilidad, sin alcanzar la deducción completa. En cuanto al principio o fundamento de la inducción, destaca de un modo más patente aún la naturaleza probabilística de la inducción en su totalidad, y deductiva en el detalle de su contenido; en efecto, equivale a afirmar sin ambages ¡la probabilidad elevada de una deducción futura de lo real!

Ahora bien, se sabe cuánto han oscilado los numerosos trabajos sobre el fundamento de la inducción, entre la interpretación probabilística y la que podría llamarse deductiva, cuando lo propio de la inducción es reunir en sí estos dos aspectos. En su famosa obra *Du fondement de l'induction* (de la que Lalande, con tanta sutileza, dijo que "se presenta más a menudo la oportunidad de admirarla que de utilizarla"), J. Lachelier se pregunta por qué los fenómenos se relacionan siempre y en todas partes de la misma manera, y contesta: por la unión de causalidad y finalidad, que es una forma de postular la deducibilidad de lo real. Asimismo, O. Hamelin insiste sobre la función de la necesidad hasta cuando se interpreta una experiencia que, por hipótesis, sería única. Dorolle, al discutir las mismas tesis, llega a formular que el fundamento de la inducción reposa sobre una doble creencia: afirmación del determinismo y afirmación de las uniformidades.[22] J. Nicod, en cambio, se ubica en un punto de vista decididamente probabilístico.[23] A. Lalande,[24] por su parte, distingue tres problemas y no sólo dos, como es habitual: el de la técnica de la inducción, que se reduce a las reglas de la probabilidad aplicada; el de los principios (principios de la "razón constituida", admitidos en una

[22] M. Dorolle: *Les problèmes de l'induction*. Alcan, pág. 143.
[23] J. Nicod: *Le problème de l'induction*. París, Alcan, 1924.
[24] A. Lalande: *Les théories de l'induction et de l'expérimentation*. Boivin, 1929.

época determinada en la historia de las ciencias: por ejemplo la creencia en el determinismo, etc.), y el del fundamento mismo, es decir, de la posición normativa de la mente que se obliga a creer en la permanencia de las cosas.

Pero si la inducción consiste en un agrupamento deductivo incompleto en cuanto está limitado por la existencia del azar, es esencial para la investigación inductiva formular su principio coordinando esos dos aspectos inseparables, y por esto nosotros lo formularíamos diciendo que afirma el carácter altamente probable de la deducibilidad de lo real. Por concebir la realidad, desde un principio, como deducible, es decir como asimilable a las acciones y operaciones del sujeto, éste organiza los conceptos de un modo que hace posible esta deducción: en este sentido la inducción es, primero y ante todo, una preparación de la deducción, por disociación entre las relaciones invariantes y lo fortuito. Mas, si al postular la composición posible y las uniformidades que condicionan esa deducibilidad, la mente choca con el azar, entonces la inducción queda como expresión de la confianza del sujeto en una deducción parcial: es porque en el centro del azar, la deducción permanece legítima bajo una forma probabilística en cuanto opera sobre conjuntos y no sobre casos aislados, y en cuanto procede por análisis combinatorio y no ya puntual. Y bien, en ambos casos, la misma creencia en la deducibilidad resulta de la tendencia fundamental inherente al sujeto, que consiste en asimilar lo real a los esquemas de su actividad. Cuando esos esquemas son acomodados de manera permanente a un campo dado de la realidad, la reversibilidad que dimana del equilibrio entre lo asimilado y lo acomodado permite las operaciones y el agrupamiento de éstos, y el pensamiento se vuelve entonces deductivo. Cuando, por el contrario, la acomodación requiere nuevos ajustes con cada experiencia nueva, la asimilación no se completa y debe ser guiada por la acomodación: entonces hay inducción. Pero el fundamento de ésta sigue siendo el postulado de un equilibrio posible entre la asimilación y la acomodación, es decir, la creencia en la deducibilidad de lo real.

A. Lalande vio acertadamente ese parentesco entre la inducción y la necesidad de asimilación; pero reduce esta última a la identificación en vez de considerarla como una incorporación del objeto en el conjunto de estructuras operatorias del sujeto. Aquí volvemos a encontrar, por ende, el problema de la identificación ya tratado (cap. V, § 5) junto con los mecanismos reversibles y la conservación: reaparece con la irreversibilidad, como lo veremos en el próximo punto.

5. La metafísica del segundo principio de la termodinámica; los equívocos de la identificación y los límites de la composición operatoria. El primer principio de la termodinámica, llamado principio de la equivalencia o también de la conservación de la energía, ha sido objeto de una interpretación superficial por los autores para quienes el principio de identidad es la norma suprema de la razón: para E. Meyerson expresa, en estado puro, la identificación en pugna con lo real, es decir, constituye un principio mitad apriorístico, mitad aposteriórico, que pertenece a esa clase de conceptos llamados por él "plausibles". Nosotros, en cambio,

admitimos (cap. V, § 5) que, si el principio de equivalencia constituye efectivamente un concepto, construido a la vez por deducción y a la vez acomodado a la experiencia, resulta difícil atribuir su formación, por más que sea producto de la razón, a la sola identificación, puesto que implica la variación y la invariancia al mismo tiempo, es decir, una construcción operatoria que cubre la estructura de un grupo y no se reduce a la mera identidad. Así, la conservación de la energía traduce esencialmente un sistema de composiciones reversibles. Hay, sin embargo, una excepción y es justamente la equivalencia del movimiento y del calor, pues aunque la transformación se efectúa en uno de los dos sentidos, no es enteramente realizable en el sentido inverso. Dicho con mayor precisión: es reversible sólo idealmente, mientras que, de hecho, la intervención del braceo, o de la mezcla cada vez más probable, impone esa irreversibilidad estadística expresada por el segundo principio de termodinámica. ¿Cuál es entonces el significado epistemológico de ese segundo principio? Representa, seguramente, una resistencia al agrupamiento operatorio, pero ¿cómo interpretarlo? Harto sabemos que E. Meyerson contestó a la pregunta hablando de una resistencia de lo real a la identificación. Sin embargo, ocurre que A. Lalande, otro defensor de la identificación, interpreta, por el contrario, el principio de la degradación de la energía como una especie de identificación gradual incorporada a la realidad misma... Por otra parte, ¿es la ley de Carnot-Clausius aposteriórica, como lo quiere Meyerson según la lógica de su propio sistema, o es apriorística, como sostiene Lalande de acuerdo con la lógica del suyo? ¿O es que se dan los dos aspectos a la vez? Tales son las preguntas que debemos examinar ahora ya que su discusión permitirá aclarar la epistemología del azar.

Observemos, para empezar, que no se podría extraer ningún argumento, en un sentido u otro, que se base en las reacciones de índole afectiva o moral que fueron provocadas por el principio de Carnot o, en general, por el espectáculo de la irreversibilidad de lo real, por la fuga del tiempo, del desgaste y del envejecimiento. E. Meyerson ha citado muchas teorías o concepciones que muestran todas las resistencias que ofrece la mente a la irreversibilidad destructora. Desde el eterno retorno de los hindúes y griegos hasta el de Nietzsche; desde el concepto, debido a Rankine, de una reconcentración ubicada en una época "infinitamente remota" hasta las contracciones y dilataciones del universo, según el abate Lemaître, pasando por Boltzmann y Arrhénius; desde las negaciones pueriles de Haeckel hasta las imaginaciones de G. Le Bon, resulta evidente que todas estas doctrinas demuestran que la irreversibilidad del mundo tiene el don de disgustar e inquietar. Sin embargo, el intento de negarla con teorías seudocientíficas o simplemente aventuradas no prueba aún en modo alguno que ella sea contraria a la razón: esto indica solamente que, extendido a todo el universo, el hecho de la irreversibilidad hiere nuestra afectividad. No es que contraríe entonces la conservación racional, sino la conservación de valores vitales, y esto está fuera de nuestro tema. En cuanto al conocimiento, el único problema consiste en saber si tenemos el derecho de extender a todo el universo razonamientos valederos en un campo limitado, y las teorías

recordadas por Meyerson tienen en común el postular ese derecho sin discusión: son "metafísicas" en el sentido más etimológico del término.

A ese respecto, la doctrina de Spencer merece una mención especial ya que se permite hacer, no sólo en el campo de la termodinámica, extrapolaciones ilegítimas: toda su filosofía de las ciencias constituye, en realidad, una "Naturphilosophie" por falta de una epistemología crítica por ser genética. Es notorio, en efecto, cómo intentó Spencer encerrar la realidad toda en una misma "ley de evolución" caracterizada por el pasaje de lo homogéneo a lo heterogéneo con integración complementaria. Y bien, al estar limitada esta diferenciación progresiva por la degradación de la energía, ¡el filósofo simplemente inventa semiperíodos de organización y de desorganización para conciliar la tendencia hacia lo homogéneo con el avance hacia lo heterogéneo!

Antes de consagrarse a sus hermosos trabajos de lógica, A. Lalande emprendió, en su obra sobre *Les illusions évolutionnistes* (nacida originariamente bajo el título *La dissolution opposée à l'évolution dans les sciences physiques et morales*), no sólo una crítica a Spencer, sino además una refutación parcial de su sistema. A pesar de que este aspecto de su obra se mantenga algo demasiado solidario, como sucede a menudo cuando se adopta la posición opuesta a la de un antecesor, con ciertas características discutibles de la generalización spenceriana, el esfuerzo de Lalande presenta un interés seguro por sus aproximaciones imprevistas. En el mundo físico, según Lalande, se distinguen desde ya dos corrientes de sentido opuesto: una dirigida, según la fórmula spenceriana, hacia la organización, y la otra hacia lo homogéneo y la "disolución". Pues bien, en los mundos de la vida, de la actividad mental y de la sociedad, se vuelven a encontrar esas mismas dos corrientes. La evolución biológica, al prolongarse en el individuo como egoísmo y voluntad de poderío, y en la sociedad como organización política y económica, todavía constituye en realidad, tal cual lo quiere Spencer, un movimiento hacia lo heterogéneo. Pero a esta tendencia vital, irracional y amoral, se opone lo normativo bajo la forma de reglas morales y lógicas. Y bien, lo normativo es esencialmente "disolución" o "involución", es decir, esfuerzo dirigido hacia lo homogéneo. Desde el punto de vista lógico, en particular, toda actividad de la razón consiste en unificar, en suprimir lo diverso en favor de lo semejante o, en otras palabras, en tender hacia lo idéntico. Explicar implica reducir la diversidad a la unidad y hacer, de este modo, prevalecer lo homogéneo a expensas de lo heterogéneo, en el sentido de una "asimilación" identificatoria. En este orden de ideas, el segundo principio de la termodinámica sería el modelo de los principios racionales: expresa la misma tendencia del universo a la homogeneidad que la razón nos impone como norma interior; por lo menos, converge exactamente con la línea de involución que caracteriza a la vez, el renunciamiento moral y la sumisión de la razón a la identidad normativa.

Resulta por cierto atractivo, ante semejante tesis, comparar, al mismo tiempo, la metafísica de A. Lalande con la de E. Meyerson, y la lógica del primero de estos epistemólogos con la del segundo. Esa doble comparación no sólo nos autoriza, sino hasta nos obliga a distinguir en esos dos autores

profundos, entre lo que es epistemología propiamente dicha y lo que desborda el campo estricto del análisis genético aplicado a la razón científica para orientarse hacia una tesis dogmática.

En el campo lógico y epistemológico, Lalande y Meyerson están perfectamente de acuerdo; tanto más que Lalande es el iniciador de una doctrina que Meyerson retomó y prolongó con notoria resonancia. Para ambos, en efecto, la razón busca la identidad; y esta tendencia fundamental hacia la identidad disuelve la realidad aparente en beneficio de una realidad más profunda, construida en parte por la deducción y en parte por elementos experimentales digeridos y trabajados, desde la percepción espacial hasta los conceptos científicos más elaborados.

Pero la mejor prueba de la insuficiencia y hasta del equívoco en este concepto de la identificación es aportada por el hecho de que los dos autores partiendo exactamente de la misma tesis epistemológica arriban a dos interpretaciones no menos exactamente opuestas en lo que respecta al segundo principio de la termodinámica. Para E. Meyerson, en efecto, el aumento de la entropía no sólo carece de toda racionalidad conceptual, sino que además el principio de Carnot revela la mayor irracionalidad que haya conocido el pensamiento científico; ni siquiera se entrevé la esperanza de comprenderlo algún día... En otros términos, de dos grandes filósofos, para quienes la razón sólo consiste en identificar, ¡uno considera el principio de Carnot como un modelo de identificación y el otro como el prototipo de la resistencia que ofrece la realidad a la identificación!

Ahora bien, al examinar las razones de esta contradicción, se discierne un primer equívoco en el concepto de identificación: el de las relaciones entre la identidad y la reversibilidad. Para Lalande, la identificación es un proceso irreversible que procede sin retorno de la diversidad a la unidad, y sólo la identidad final es reversible, pues si $A = B$, se puede identificar tanto A con B como B con A. Por el contrario, Meyerson no insiste sobre el carácter irreversible del proceso mismo de la identificación y sólo destaca la reversibilidad final en la relación de identidad. Ambos, además, concuerdan en ver la identificación como fuente de la reversibilidad, y no a la inversa. Pero es ahí donde reside, sin duda, la insuficiencia del concepto de identificación, puesto que para conciliar la irreversibilidad del mismo proceso de identificación con la reversibilidad de las relaciones terminales es necesario, seguramente, ir más allá de lo idéntico y recurrir al juego completo de las operaciones que, en cuanto psicológicas, tienden irreversiblemente tanto hacia la reversibilidad como hacia su forma de equilibrio que, y en cuanto lógicas, constituyen un sistema móvil y reversible en el cual la identidad no es sino un caso particular (operaciones idénticas).

Aquí, A. Lalande por cierto ha hecho gran alarde de ingenio al comparar el movimiento gradual y lento hacia el equilibrio, expresado en el principio de Carnot, con la orientación seguida por la razón en su desarrollo, a pesar de las diferencias manifiestas entre las dos formas finales de equilibrio: un estado de reposo creciente con el aumento de la entropía, y el equilibrio móvil de una razón viviente y activa. Por una parte, aunque el aumento de la entropía sea realmente un movimiento en sentido único,

el equilibrio al que tiende este proceso está definido, empero, por su reversibilidad final. Por otra parte, Lalande, que es normativista, ve en la identidad un ideal necesario; y en la identificación, un movimiento hacia esa identidad ideal que se obtiene por renunciamiento progresivo a la diversidad sensible, fuente de error y de mal. Desde este doble punto de vista existe, por cierto, una especie de paralelismo entre la disolución evocada por el principio de Carnot y el *nirvana* racional constituido por lo idéntico, en la medida en que éste es aceptado como norma suprema. E. Meyerson, cuya filosofía inicial es la de un químico, piensa en cambio la reversibilidad en forma de ecuaciones de sentido doble ($A + B \rightleftarrows C + D$) mediante las cuales los especialistas en fisicoquímica expresan el equilibrio entre dos reacciones recíprocas (tales que los cuerpos $A + B$ del primer miembro se transforman en los del segundo $C + D$ de la misma manera que a la inversa): esta reversibilidad le parece resultar, entonces, de la identidad de los componentes, sin que él haya insistido en las relaciones entre este tipo de reversibilidad y la del equilibrio termodinámico final. Pero de esta concepción un tanto química de la identidad y la reversibilidad, Meyerson infiere sobre todo que la irreversibilidad propia del aumento de la entropía representa la relación irracional típica, y no insiste, como lo hizo Lalande, sobre la analogía formal de este proceso con la irreversibilidad de la identificación como desarrollo temporal. Hay que agregar que la metafísica de E. Meyerson implica una oposición absoluta entre la razón identificadora y lo real, cuya diversidad resiste a la mente, mientras que para Lalande tanto el objeto como el sujeto son mezclas de lo racional y lo irracional, o del bien y del mal; el primero de los dos autores se niega a encontrar en la realidad misma un avance hacia lo idéntico (así como Bergson en cierto modo se negaba a reconocer ciertos aspectos de la duración bergsoniana en el concepto de tiempo físico, renovado por los relativistas); para Lalande, al contrario, la cuestión no presenta inconvenientes.

Aclarado esto, conviene intentar ahora extraer una enseñanza de esas contradicciones, tanto en lo referente a las relaciones entre reversibilidad e identidad, como con respecto al carácter apriorístico o aposteriórico del principio de Carnot.

Destaquemos, para empezar, respecto de las relaciones entre identidad y reversibilidad, que esa divergencia interpretativa entre Lalande y Meyerson nos aporta otra demostración más para una tesis sobre la que hemos insistido muchas veces: que la identidad tomada en sí misma es un concepto esencialmente equívoco por ser resultante de un sistema de operaciones cualquiera. El saber solamente que $A = B$ no tiene una significación suficiente, ni científica ni epistemológica, ya que el sentido de esta identidad está referido enteramente a las operaciones que permitieron su construcción. A este respecto, lo idéntico es comparable al cero matemático cuya significación, que es la de una operación nula, permanece siempre referida al sistema de operaciones en las que interviene. Es erróneo pensar que se pueda explicar la reversibilidad por medio de la identidad: al contrario, la composición reversible propia de un sistema de operaciones es la que da cuenta de la identidad, puesto que ésta constituye el producto de la opera-

ción directa por su inversa, es decir, solamente una de las operaciones del sistema y ya no su motor único. Habrá que buscar entonces en los agrupamientos de operaciones el campo de competencia de la razón, y no en uno de sus aspectos aislados.

Ahora bien, la reversibilidad se presenta, en la actividad efectiva de la mente, bajo dos formas genéticamente inseparables: una lógica o racional, la otra psicológica; la distinción de estas dos formas es la que permite comprender cómo la mente tiende, de manera irreversible, hacia la reversibilidad. La reversibilidad lógica consiste en la posibilidad de invertir cada operación y cada composición de operaciones; la reversibilidad psicológica, por su parte, en la posibilidad de recorrer el mismo trayecto mental en ambos sentidos. Estas dos clases de reversibilidad son siempre correlativas: por ejemplo, en el nivel en que el niño es todavía incapaz de reversibilidad mental (como la de elaborar hipótesis y después descartarlas),[25] es igualmente inepto para la reversibilidad operatoria; recíprocamente, el descubrimiento de las operaciones lógicas inversas resulta de un desarrollo de la reversibilidad mental. Sin embargo, estas dos formas de reversibilidad son diferentes, pues una atañe a la estructura de las operaciones y la otra al funcionamiento mental. Pero hay más aún: siendo la operación lógica esencialmente una acción que se ha vuelto reversible en función de su mentalización o internalización progresiva, toda la evolución de la inteligencia, a partir de sus formas sensoriomotrices iniciales e irreversibles (hábitos y percepciones reunidos) y a través de sus formas intuitivas progresivamente articuladas, debe ser concebida como un movimiento en sentido único (por ende irreversible en sí misma), orientado hacia un equilibrio móvil final, constituido precisamente por la composición reversible. Desde este punto de vista la evolución de la razón es, si se quiere, en parte comparable a la caracterizada por el principio de Carnot; pero, excepto esa diferencia (que es esencial para quien rechaza la tesis de la identidad pura), el equilibrio reversible final de la termodinámica es inmóvil y resulta de una mezcla, mientras que el equilibrio reversible progresivo de la razón es tanto más móvil cuanto más desarrollada esté la inteligencia y procede del orden por oposición al azar.

Dicho esto, no resulta menos cierto que el principio de Carnot está lejos de presentar la simplicidad epistemológica de un principio de conservación, y que las resistencias de E. Meyerson para adoptar la tesis de Lalande sobre la entropía se explican fácilmente, sin que ello implique justificar ni la afirmación de su irracionalidad ni la oposición fundamental entre lo diverso real y la identidad lógica.

Desde el punto de vista de la epistemología genética, la diferencia esencial entre el segundo y el primer principio de la termodinámica reside en que este último fue postulado por la razón mucho antes de que se pudiera acomodarlo a la experimentación (véase su historia, de Leibniz

[25] De hecho el niño pequeño no sabe hacer hipótesis propiamente dichas porque se mantiene aferrado a sus suposiciones iniciales aun cuando las considere falsas y crea haberlas cambiado por otras.

a R. Mayer, cap. V, § 5), mientras que aquél fue impuesto por la experiencia (Carnot) antes de poder ser asimilado por la razón (de Clausius a Boltzmann). Pues bien, la explicación de esta oposición histórica es muy clara y es una consecuencia directa de lo que hemos visto (§§ 1 y 2 de este capítulo) referente a la génesis psicológica del concepto de azar: el reconocimiento de la existencia y sobre todo de la importancia real de la mezcla fortuita supone la elaboración previa de un mecanismo operatorio con respecto al cual la mezcla, no componible por los métodos comunes de este sistema, aparecerá como una resistencia. En este sentido, pero en este sentido relativo solamente, el principio de Carnot, al poner de manifiesto el carácter irreversible de la evolución fisicoquímica, ha constituido un ente irracional. Este irracional se ha revelado, sin embargo, como provisorio ya que la razón logró deducir el aumento de la entropía con la seguridad propia de las operaciones combinatorias y del cálculo de probabilidades. La única diferencia entre la necesidad deductiva propia de este aumento y la que caracteriza un principio de conservación reside luego en que el aumento de la entropía sólo es muy probable; pero en caso de fluctuaciones, previstas por la teoría y despreciables en la realidad, éstas señalarían precisamente el retorno a un estado anterior, es decir, ¡una reversibilidad parcial! También el modo de deducción propio del principio de la degradación prolonga, por ende, lo que hemos visto de la génesis del azar, puesto que, ni bien el azar es admitido como sistema no componible en el detalle de los encuentros, es asimilado por las operaciones como sistema combinatorio componible en su conjunto.

A partir de este momento y aunque nacido de la experiencia, el principio de Carnot se reconstruye de manera apriorística, por así decirlo, mientras que el de equivalencia, aunque nacido de la razón, incorpora elementos aposterióricos. De modo que ambos son racionales y experimentales a la vez en diversos grados; el primer principio de la termodinámica expresa las operaciones necesarias para toda conservación, y el segundo, las combinaciones probables relacionadas con la mezcla, es decir, combinaciones operatorias.

En cambio y aunque el segundo principio entraña elementos racionales como el primero, surge una irracionalidad verdadera pero que no le es inherente, apenas se produce un resbalamiento desde el campo limitado de los sistemas cerrados que corresponden a su significación científica hacia la hipótesis metafísica de hacerlo extensivo a todo el universo. ¿Cómo admitir, pregunta E. Meyerson junto con los metafísicos del siglo XIX, que la entropía aumente de continuo en el sentido de lo menos a lo más probable, sin preguntarse de dónde proviene el estado improbable inicial o sin renunciar explícitamente a develar el misterio? Mas, con buena lógica aquí hay misterio sólo cuando se comienza a asimilar el universo todo a un sistema cerrado, es decir a aplicarle operaciones de composición aditiva (que engendran la conservación) o de combinaciones y de composición probabilística, como si fuera un objeto o un conjunto de objetos dados. Pues bien, la cuestión previa reside precisamente en saber si tal extensión es legítima. El segundo principio de la termodinámica plantea

así de un modo muy agudo la cuestión de los límites en la composición operatoria de orden físico, sin ser el único en hacerlo puesto que el problema es común a todos los principios físicos.

Unicamente las operaciones lógicas y matemáticas han demostrado ser hasta ahora susceptibles de extensión indefinida. En efecto, el infinito matemático atestigua, sin más, el dinamismo de la razón, es decir, la fecundidad de las coordinaciones generales en la acción del sujeto. Pero cuando las mismas operaciones son aplicadas a lo real, es decir, cuando se pasa de las coordinaciones generales a las acciones particulares efectuadas sobre conjuntos específicos de objetos, éstas, desde luego, sólo son factibles dentro de los límites del dominio en cuyo interior se constituyen. Así el concepto de objeto sustancial presenta un significado preciso en la escala de la acción macroscópica, pero lo pierde en la escala microfísica: bajo estas condiciones ¿es posible concebir sin peligro todo el universo, en cuanto físico o real, como un "objeto" propiamente dicho, es decir, como un sistema único de objetos a la manera de lo que se denomina "espacio" en geometría? Y bien, si esta confusión de escalas (o hasta de totalidades físicas y matemáticas) es ilegítima ¿qué ocurre, con respecto a ese universo irreducible a un gran objeto, con aquellos principios que, como los de la degradación o conservación de la energía, suponen precisamente el objeto?

En lo que concierne a la conservación de la energía, de la materia, etc., resulta claro que, si el universo concebido como un objeto total y único se supone infinito, el concepto mismo de conservación pierde todo significado. Pero si el universo es finito, surgen los interrogantes de saber cuál es la cantidad total de su energía, de su masa, etc., y por qué ocurre así: cabe preguntarse si esos interrogantes conservan el mismo sentido cuando se trata de la totalidad o cuando se enfocan sistemas cerrados con sus transformaciones en la escala de nuestra propia acción. En cuanto al segundo principio, que es un principio de evolución, el extender a la totalidad del universo las operaciones que hacen inteligible esa evolución en sistema cerrado, genera los problemas del origen primero y del fin último; veamos qué extrapolación suponen esas cuestiones con respecto a los conceptos y las operaciones temporales y causales, válidas en el plano de la acción en nuestra escala.

La contestación que debe darse a los seudoproblemas, en cuyo nombre se intenta convencernos de la irracionalidad fundamental de lo real, es la respuesta crítica o relativista: las operaciones de una clase dada, nacidas de ciertas acciones particulares en la medida en que éstas son susceptibles de coordinación reversible y rigurosa, poseen por su mismo origen un campo de aplicación, limitado a la naturaleza y a la escala de su dominio de partida (en oposición relativa a la coordinación general de las acciones que conduce a las operaciones lógico-matemáticas). La extensión de esas operaciones particulares en la escala microfísica plantea los problemas que estudiaremos en el capítulo siguiente. Su extensión en la escala de la totalidad del universo se enfrenta con dificultades simétricas en el sentido contrario. Pero así como muchos problemas pudieron ser resueltos en la escala inferior, no hay nada que pruebe que los de la escala superior queden siempre sin

solución. Antes de atribuir estas dificultades a la irracionalidad de lo real o a una impotencia congénita de nuestra razón, deberíamos estar seguros de la inmutabilidad de las operaciones racionales. Pues bien, la historia nos enseña que las palabras "siempre" o "jamás" deben ser excluidas del vocabulario de la epistemología genética. A. Comte, cuyas profecías sufrieron una mala suerte proverbial, había anunciado la vanidad de toda especulación probabilística aplicada al detalle de los hechos físicos. Cuidémonos entonces de imitarlo en lo concerniente a las probabilidades aplicadas al conjunto: resultaron vanas hasta ahora porque se emplearon operaciones construidas en otra escala, sin lograr la construcción de nuevos instrumentos operatorios como en la microfísica. Mas, aunque esta comprobación permita remitir a los filósofos las soluciones positivas y negativas elaboradas al respecto, no nos autoriza a hablar ni de misterio en sí ni de misterio definitivo.

6. La significación del probabilismo físico. Desde la época en que el cálculo de probabilidades se integró en los hábitos de los físicos y éstos descubrieron, junto con los fenómenos mecánicos y electromagnéticos de carácter reversible, la gran clase de los fenómenos irreversibles producidos por la mezcla y el azar, la significación del probabilismo en la física se halla, no obstante, lejos de haber sido fijada en forma tal que concite la unanimidad de las mentes informadas. Y sin embargo, entre 1838 y 1875 aparecieron las grandes obras de A. A. Cournot que constituyen toda una filosofía del azar y de sus relaciones con el orden y con la razón. Pero, al adoptar una posición de justo medio entre las que habremos de destacar, Cournot no alcanzó a crear una opinión general; se sabe inclusive cuán subestimada fue su obra hasta la época reciente en que se lo descubrió como una de las mejores cabezas en la filosofía del siglo xix.[26] En realidad, el lento advenimiento del probabilismo en epistemología es, sin duda, junto con el desfasaje natural de la reflexión con respecto a las operaciones que actúan en la investigación física efectiva, el reflejo de las mismas causas cuya intervención invocamos para explicar la formación tardía de la idea de azar.

Las diversas actitudes epistemológicas relacionadas con el azar se pueden clasificar en tres categorías principales: la de los autores que rechazan atribuir a este concepto una significación positiva y sólo ven en el cálculo de probabilidades un recurso de emergencia para la insuficiencia de los medios analíticos; la de las mentalidades que, como Cournot, ven en lo real un compuesto de secuencias simples y enlaces fortuitos, y en el conocimiento una dosificación (en todos los grados) de deducción pura e inducción probabilística; y, por fin, la de los físicos y filósofos para quienes el carácter estadístico de las leyes naturales es primordial, mientras que las leyes simples y los mecanismos reversibles sólo constituyen la resultante macroscópica y por ende referida a cierta escala de observación, de los enlaces probables.

[26] Véase en particular J. de la Harpe: *De l'ordre et du hasard. Le réalisme critique d'Antoine Augustin Cournot*. Neuchâtel, Université, 1936.

Entre los adversarios de la idea de azar, habría que citar en primer término a todos aquellos autores cuyos verdaderos motivos radican en razones teológicas o políticas. Que el artificialismo histórico de Bossuet le impida reconocer la función de lo fortuito es muy natural, y Cournot cita aquel texto, escrito en "ese tono solemne que le es habitual", en que el gran orador reduce el azar a un "término que empleamos para cubrir nuestra ignorancia".[27] Pero, hasta en un autor contemporáneo tan versado en cuestiones de física como R. Gérard, el probabilismo es denunciado, sin ambages, como un peligro social: "En realidad, estamos embargados por una preocupación mucho más grave: el porvenir del propio razonamiento y del pensamiento coherente de todo un grupo humano que las divergencias en ciertas ramas del razonamiento físico actual, impregnado de probabilismo y de incertidumbre, amenazan contaminar peligrosamente (por más fecundas que puedan resultar temporariamente...) al repudiar en su lenguaje la integridad del principio de causalidad y el antiguo determinismo puntual que forman su base y su vida".[28]

No hace falta recordar que los mismos matemáticos y físicos, con o sin tales preocupaciones latentes, razonaban más o menos por el estilo a principios del siglo XIX: "o pueril o complicada" decía A. Comte de la aplicación del cálculo de probabilidades a la física. Laplace, igual que Bossuet, consideraba que el azar era una palabra que cubría nuestra ignorancia, y que las leyes inmutables de la naturaleza eran simples y "pocas". A lo que Cournot contesta con sagacidad que "bastaría que hubiera dos, perfectamente independientes la una de la otra, para que se le diera un sitio a lo fortuito en el manejo del mundo".[29]

De ahí el célebre sistema de Cournot que une, en forma indisoluble, el azar y la probabilidad con las ideas del orden y de la razón, pero sin acordar privilegios al razonamiento probabilístico.

Según Cournot, la idea central del pensamiento racional es el concepto de orden que vincula las razones y las consecuencias entre sí según sus mismas conexiones constructivas, tanto en sentido objetivo como subjetivo. En efecto, existe una razón objetiva de las cosas, y tales razones dependen unas de otras según un orden real, como también una razón subjetiva cuyos conceptos se ordenan en función de este objetivo: "la razón *objetiva* se encuentra —dice Cournot de una demostración—, la razón *subjetiva* se satisface",[30] lo que significa que el orden de los conceptos se ha encontrado con el de la realidad. Pues bien, este orden racional difiere del orden lógico que es lineal como el del discurso,[31] de lo que resulta "la ineficacia del silogismo para el avance del conocimiento científico" y "la función de la construcción o síntesis a priori en el descubrimiento de verdades".[32] En

[27] *Matérialisme, Vitalisme*, etc., pág. 228.

[28] R. Gérard: *Les chemins divers de la connaissance* (con prefacio de P. Valéry), 2ª ed. 1945, pág. 41.

[29] *Matérialisme*, etc., pág. 228.

[30] *Matérialisme*, pág. 203.

[31] *Ibid.*, pág. 216.

[32] *Ibid.*, pág. 213.

efecto, la existencia del orden racional se reconoce por el hecho de que varias demostraciones posibles igualmente lógicas de una misma verdad no tienen el mismo valor explicativo, y sólo la que se ajusta al orden efectivo de la "construcción" da realmente cuenta de esa verdad. Asimismo, la razón de las cosas no se confunde con sus causas: por ejemplo, cuando una "combinación fortuita ofrece alguna singularidad, ésta tiene una causa, pero carece de una razón y he aquí por qué nos llama la atención".[33]

De modo que, según Cournot, el azar consiste en la interferencia de series causales independientes o series de razones también independientes: "la idea de azar, con todas sus consecuencias, se aplica tan bien a series colaterales en el orden racional puro como a series colaterales en el orden de la causalidad".[34] Como ejemplo de interferencias entre series de razón, Cournot cita la famosa dispersión fortuita de los decimales de π, resultante de la interferencia entre una relación geométrica continua (entre el diámetro y la circunferencia) y la sucesión de los números en el sistema decimal, y esto ocurre aunque cada una de esas operaciones esté rigurosamente determinada, así como también su interferencia.

En líneas generales existe, entonces, un orden en la realidad y en nuestra mente, pero la misma multiplicidad de las series ordenadas origina su independencia en grados diversos, puesto que ya no hay enlace estrecho entre las series colaterales: y bien, la interferencia de las series independientes, es decir, en el lenguaje empleado hasta ahora, la mezcla de objetos o de relaciones, constituye una realidad nueva, distinta y a la vez complementaria del orden, y esta novedad es el azar. Después, sometiendo el azar al cálculo de combinaciones, resulta, por una parte, la teoría matemática de las probabilidades y, por la otra, su aplicación a la realidad física con suficiente cantidad de comprobaciones: "en este sentido la *probabilidad matemática* puede ser considerada como la medida de la *posibilidad física del acontecimiento*".[35] En lo que se refiere a la inducción, ésta no es sino el modo de razonamiento adaptado a ese probabilismo: Cournot la compara con el método que se utiliza para juzgar la buena o mala fabricación de un lote de monedas pesando algunas muestras extraídas al azar.[36]

Esta importante doctrina representa seguramente la conciliación más elegante que se pueda concebir entre el determinismo causal u orden racional y el azar enfocado como realidad positiva; pero la misma simplicidad del acuerdo así formulado reposa, sin embargo, sobre un postulado doble que el estado actual de las investigaciones obliga a reexaminar: el postulado según el cual el orden racional "subjetivo" correspondería a un orden físico objetivo tal que las relaciones simples y reversibles constituyan el hecho primero; según ese postulado sólo los entrecruzamientos de esas relaciones simples producirían, como efecto secundario, el azar "con todas

[33] *Ibid.*, pág. 222.
[34] *Ibid.*, pág. 224.
[35] *Matérialisme*, pág. 232.
[36] *Ibid.*, pág. 237.

sus consecuencias". Sin embargo, ¿es siempre cierto que una mezcla física, a la cual sólo es aplicable el cálculo de probabilidades, sin ninguna posibilidad de analizar las secuencias aisladas, resulte de una combinación de esas secuencias que pueden ser concebidas como aislables por derecho y al mismo tiempo como interferentes de hecho? Por cierto, existe una analogía impresionante (y fue el gran mérito de Cournot haber insistido sobre ella desde un principio): operaciones matemáticas rigurosamente determinadas dan lugar a una dispersión fortuita, cuando interfieren conservando su independencia. El notable ejemplo de Cournot en relación con el número π fue completado más tarde por muchos otros (la décima cifra decimal de los logaritmos, etc.). Pero por el hecho de que ese azar, por entrecruzamiento de operaciones reversibles, verifica sin lugar a dudas la tesis de Cournot sobre interferencia de las series racionales, no se podría deducir, salvo por una simple analogía que puede resultar falaz, una estructura paralela del propio azar físico al menos en cierta escala. Podría ocurrir, al contrario, que en la realidad material lo fortuito y lo irreversible fuesen primarios y que sólo la ley de los grandes números aplicada en nuestra escala de observación permitiese a la razón ordenar los fenómenos según relaciones simples y reversibles: partiendo, entonces, de éstas y comprobando que su interferencia ya produce azar en el plano macroscópico, no sería legítimo generalizar este mecanismo a todas las escalas sin sospechar que sólo una abstracción subjetiva nos llevó a aislar esas relaciones simples y a considerarlas como primarias.

Sin anticipar nada sobre el examen de las posiciones adoptadas por los especialistas en microfísica contemporánea, a quienes consagraremos todo un capítulo, comprobemos, por ahora, que ese concepto de lo primario en el azar con respecto al determinismo fue desarrollado por varios físicos, como A. Eddington en sus *Nouveaux sentiers de la science* y Ch. E. Guye, en sus dos obras sobre *L'évolution physico-chimique* y *Les frontières de la phisique et de la biologie*. Después de mostrar cómo las leyes estadísticas, reservadas primero a las ciencias sociales y biológicas de extrema complejidad, conquistaron el terreno de las ciencias exactas, Ch. E. Guye concluye: "Parece inclusive que estas últimas, y la fisicoquímica en particular, deben su nombre de ciencias exactas sólo a la ley de los grandes números que expresa generalmente los efectos de fluctuaciones inapreciables".[37] "En líneas generales, agrega además, puede decirse que el determinismo de todos los fenómenos físicos y químicos —que se encaren en la escala fisicoquímica, molecular y atómica o intraatómica— tiende cada vez más a ser considerado por los físicos como un «determinismo estadístico»";[38] ... "el concepto de un *determinismo absoluto* podría ser en verdad uno de esos conceptos que Langevin llama «familiares»; provendría, en gran parte al menos, de la observación macroscópica de los fenómenos y, en particular, del estudio de la mecánica en nuestra escala de observación. Quizás un día lleguemos a deshacernos de él por completo con los progresos

[37] *L'évolution physico-chimique*, pág. 79.
[38] *Frontières*, pág. 98.

de la ciencia." "Ese día el determinismo absoluto nos parecerá sólo una *ilusión macroscópica.*" [39] "En definitiva, parece que el concepto de determinismo tiende a volverse cada vez más «relativo» y que depende en gran parte de la escala que elijamos para ubicarnos. En efecto: en cada escala el determinismo se halla modificado por fluctuaciones individuales imprevisibles." [40]

Para discutir el valor epistemológico de una concepción como ésta, es importante distinguir con cuidado la cuestión de los procedimientos en el conocimiento, que es la única que nos interesa aquí, y la cuestión física sobre la naturaleza de la realidad misma. Son suficientemente conocidos los esfuerzos de los filósofos en usar el determinismo estadístico (aun antes de insistir sobre el principio de indeterminación de la microfísica actual) para justificar el concepto de contingencia. Según A. Reymond, por ejemplo, si el cálculo de probabilidades supone la equiposibilidad de los casos a los que se refiere el análisis de las combinaciones, esta igualdad de los casos posibles implicaría entonces una indeterminación de hecho (y, por ende, la contingencia).[41] Pero, al comprobar que el azar interviene aun en la interferencia de las series operatorias (como en el ejemplo del número π de Cournot) en que la determinación es, sin embargo, rigurosa, resulta inevitable pensar que la equiposibilidad no constituye una indeterminación en sí, sino una mera indeterminación únicamente con respecto a la conexión de las series consideradas: en este caso, la indeterminación es de orden subjetivo, y no necesariamente objetivo, es decir, si el sujeto sólo dispone de las dos operaciones consideradas, no puede determinar por medio de ellas sus intersecciones. Por ejemplo, si se propone entre tres clases la relación binaria $A + A' = B$, se sabe que si x es A también es necesariamente B; pero, si se sabe solamente que x es B, sin precisar si es A o A', entonces puede ser A o A': la relación de inclusión queda entonces indeterminada por ser uninaria, por no hacer intervenir las operaciones binarias inversas $B - A = A'$ o $B - A' = A$. Existe pues, en este caso, una indeterminación subjetiva por falta de una operación necesaria (para el conjunto binario), y no indeterminación objetiva; ocurre así con todas las interferencias entre operaciones, en que el resultado no es nunca fortuito, es decir, indeterminado, salvo a causa de la falta de una o varias operaciones. El concepto de equiposibilidad es esencialmente relativo y, además, no es de manera alguna indispensable que sea absoluto para que las posibilidades contenidas en una relación indeterminada accedan al cálculo probabilístico. Por esta razón los matemáticos ahora descartan ese concepto de equiposibilidad en cuanto concepto fundamental en el cálculo de probabilidades por su imprecisión y por la dificultad en definirlo: se parte simplemente de una "distribución" X cuya variable (o el grupo de variables) se asocia a los resultados de la "clase de experiencias" considerada.[42]

[39] *Frontières*, pág. 99.
[40] *Frontières*, pág. 100.
[41] A. Reymond: *Philosophie spiritualiste*, t. págs. 364-366.
[42] L. Féraud: "Paramètre ignorable dans une loi de probabilité". *C. R. des séances de la Soc. de Physique de Genève*, t. LXII, pág. 58, 1945.

Resumiendo, el éxito en la aplicación del cálculo de probabilidades a un campo dado de fenómenos no prueba por sí solo la indeterminación objetiva de esos fenómenos o su contingencia ni su determinación subyacente. En cambio la sustitución forzosa del determinismo absoluto por el estadístico es siempre indicio del carácter incompleto de nuestras operaciones; se plantea entonces el problema de establecer por otros medios si esa indeterminación operatoria se debe a la insuficiencia de nuestros instrumentos materiales y mentales de investigación o a la realidad misma.

Pero antes de examinar la respuesta a ese problema, elaborada por la microfísica contemporánea (véase cap. VII), es importante destacar una vez más al respecto: que el carácter completo y bien determinado de nuestras operaciones, o su carácter incompleto, y por consiguiente indeterminado, depende en la realidad física de la escala de los fenómenos. En efecto, tanto los autores que admiten una indeterminación objetiva bajo el determinismo estadístico (como Eddington y Ch. E. Guye) como aquellos que mantienen el postulado de un determinismo necesario aun en el nivel infraestadístico, por así decirlo (como M. Planck), concuerdan en destacar la función de la escala de observación en el carácter determinado o estadístico de las leyes físicas. Así, Ch. E. Guye, cuya exposición indeterminista hemos citado anteriormente, escribe: "La «escala de observación» crea el fenómeno" [43] y da como ejemplo un gas perfecto que, en escala molecular, presenta una "complejidad casi inextricable", pero, en nuestra escala de observación, da lugar a leyes muy precisas y ulteriores compensaciones estadísticas (por ejemplo, la ley de Mariotte). En oposición a ese autor, Planck declara que en la física "la determinación exacta de las probabilidades sólo es posible cuando los fenómenos elementales últimos, llamados microscópicos, obedecen únicamente a leyes dinámicas (= necesarias). Aunque la observación, a causa de la limitación de nuestros sentidos, no pueda hacernos conocer nada de esas leyes, el postulado de su carácter absolutamente universal y necesario sigue siendo, sin embargo, el fundamento indispensable de toda estadística".[44] Mas, a pesar de esta profesión de fe tan opuesta a la corriente actual, Planck concluye diciendo que "el dualismo que opone las leyes estadísticas a las leyes dinámicas (= necesarias) está estrechamente vinculado con la oposición entre el macrocosmos y el microcosmos" [45] y, por ende, con cuestiones de escala.

No corresponde, por cierto, a los epistemólogos poner fin al debate sobre el tema de si existe bajo el determinismo estadístico un infradeterminismo absoluto, sino a los mismos físicos; y ellos, parecen haber resuelto el problema en sentido negativo, exactamente contrario al de M. Planck.[46] Pero, lo que sí interesa a la epistemología es que el propio Planck considere su infradeterminismo inaccesible al análisis, y por ende incognoscible salvo

[43] *Frontières*, págss 6-7.
[44] *Initiations à la physique*, págs. 63-64. Véase también pág. 110.
[45] *Ibid.*, pág. 64.
[46] De Broglie: *Continu et discontinu en physique moderne*. París, A. Michel, y Eddington: *Nouveaux sentiers de la science*. Hermann, 1936 (véase en particular en el cap. IV la refutación de la tesis infradeterminista del profesor Planck).

como existencia simplemente "postulada". Resulta así que los partidarios y los adversarios del infradeterminismo concuerdan en dos afirmaciones esenciales desde el punto de vista del conocimiento: la primera sostiene que nuestro modo de conocimiento varía según la escala del fenómeno y que es esta misma escala como tal la que "crea" el fenómeno, según la decidida expresión de Ch. E. Guye; la segunda, que si los conceptos de determinismo absoluto o de "leyes dinámicas" propias de la escala superior se aplican a los mecanismos reversibles, susceptibles por ende de ser detallados y desarrollados en los dos sentidos, el determinismo estadístico, en cambio, expresa el carácter global e irreversible de los sistemas cuyo detalle, situado en la escala inferior, es demasiado complejo para ser analizado en sí mismo.

Se puede ver entonces el alcance epistemológico de ambas comprobaciones: la reversibilidad de los fenómenos está parcialmente referida a la escala de nuestra posible acción sobre ellos, mientras que la irreversibilidad, solidaria con el carácter meramente probable de las leyes estadísticas, está parcialmente referida a los límites de nuestra acción.

Consideremos desde este punto de vista los fenómenos mecánicos, modelos del determinismo absoluto y de la reversibilidad causal: los conceptos de objeto, de movimiento, de velocidad a lo largo de trayectorias continuas, de aceleración, etc., que los caracterizan, corresponden todos a operaciones mentales simples, es decir a acciones del sujeto que presentan la doble característica de palpar la realidad en cuestión y de traducir las transformaciones posibles, tanto del cuerpo propio como de los cuerpos exteriores. Desde la mecánica celeste hasta las oscilaciones eléctricas, se extiende un sistema de fenómenos que, si bien escapan a nuestra acción directa por sus dos extremos, son asimilables a los esquemas de esa acción, es decir a las composiciones operatorias reversibles; esto ocurre porque la observación y la experimentación son funciones de las interacciones entre nuestro cuerpo y aquellos cuerpos que actúan sobre él en la escala del primero.

Consideremos ahora los hechos de conductibilidad, difusión, fricción, irradiación, destrucción de átomos en las sustancias radioactivas y otros mecanismos irreversibles para cuya explicación ya no basta el principio de la menor acción. Contrariamente a los mecanismos reversibles que, como dice Planck, "presentan el inconveniente de ser solamente ideales", pero que por eso mismo nos posibilitan actuar y operar sobre el universo, los mecanismos irreversibles están situados en la escala de lo irrepresentable por falta de operaciones nuestras adecuadas para traducir sus procesos íntimos. ¿Qué sucedería empero si, en vez de poseer cuerpos propios de cierta dimensión, dotados de movimiento, de actividad muscular, de percepción de objetos de tamaños reales o aparentes, análogos al nuestro, etc., estuviéramos en posesión de órganos totalmente diferentes, sensibles a los cambios de estado y no a los movimientos, y de dimensiones tales que actuaríamos sobre los elementos microscópicos y no sobre los macroscópicos? ¿Permanecería ligada la reversibilidad de nuestras operaciones a las leyes mecánicas, o construiríamos en esta otra escala, un sistema de relaciones ideales,

allí donde actualmente, en nuestras condiciones de actividad reales, sólo concebimos algo global irreversible?

Tal es el verdadero problema epistemológico de la irreversibilidad. El determinismo absoluto está ligado a operaciones reversibles, ideales, que dan origen, sin embargo, a una acción indefinida y efectiva sobre las cosas en la escala humana. Por su misma relatividad en esa escala humana, tal forma de determinismo es un producto de la actividad del sujeto, tanto por lo menos como de la naturaleza de los objetos. El determinismo estadístico en cambio, que reemplaza las composiciones operatorias completas por un sistema de operaciones combinatorias que atañen únicamente a los conjuntos, expresa los límites de nuestra acción sobre las cosas y, por consiguiente, sólo puede comprenderse en función de los propios límites. Así, la verdadera significación del probabilismo consiste en indicar los límites de la acción subjetiva: acción enteramente determinada por las composiciones reversibles, introducidas por ella en la realidad en un cierto nivel, pero acción indeterminada en el detalle, cuando sobrepasa sus límites, aunque permanezca parcialmente determinada en cuanto a los "grandes números", es decir a conjuntos lo suficientemente compactos como para permitir la continuación probable de esa acción.[47] El principio de inducción expresa justamente esta asimilación de lo real a las operaciones de las que la mente afirma que serán siempre eficaces donde su acierto fue total, y de una probabilidad apreciable donde el acierto fue parcial.

Así como históricamente el análisis termodinámico y el estadístico originaron los primeros trabajos sobre microfísica, así también desde el punto de vista epistemológico el problema que acabamos de encontrar reaparece profundamente renovado en la evolución de los conceptos propios de este nuevo aspecto de la física. Es lo que nos queda por examinar ahora.

[47] Ese problema de los límites de la acción con respecto a la indeterminación relativa de los sucesos individuales toca la célebre cuestión planteada por el valor de la probabilidad en un suceso aislado. Se sabe que para ciertos matemáticos, como V. Mises y Reichenbach, toda probabilidad está referida a una colección de hechos. Otros autores, como E. Borel, querían por el contrario salvaguardar la intuición de la probabilidad de un suceso único, por ejemplo el juicio de un médico referente al deceso probable de un tuberculoso afectado por una forma rara de la enfermedad (de modo que su clase "se reduciría, en el límite, a un caso único": *Valeur pratique et philosophie des probabilités*, pág. 88). Sin embargo, intentamos mostrar en otra parte ("La génesis de la idea de azar", cap. x) que tales intuiciones probabilísticas aisladas siempre están referidas psicológicamente a experiencias anteriores, o sea, a una tabla implícita de distribuciones. Así como en lógica la comprensión y la extensión son necesariamente solidarias, y lo "necesario" en comprensión corresponde al "siempre" en extensión, así también las evaluaciones probabilísticas de sucesos calificados se refieren necesariamente a una distribución y, recíprocamente, lo más o lo menos "probable" en comprensión corresponde a lo más o menos "frecuente" en extensión.

LAS ENSEÑANZAS EPISTEMOLOGICAS DE LA MICROFISICA

La interpretación probabilística de la termodinámica, conjugada con la teoría cinética de los gases y con el renacimiento del atomismo, ya ha renovado por sí sola el pensamiento de los físicos. Considérese, por ejemplo, la explicación del movimiento browniano por Smoluchowski, basada en la probabilidad de los encuentros entre las moléculas agitadas por el calor y las partículas en suspensión en los medios coloidales, así como la comprobación de esta hipótesis por los trabajos experimentales de J. Perrin, y se tendrá la exacta medida del camino recorrido desde los inicios de la mecánica clásica y los "torbellinos" de la mecánica cartesiana. Pero con el descubrimiento del carácter discontinuo de la energía por Planck, en 1900, y con el prodigioso avance de la física intraatómica surgida de la teoría de los cuantos, lo cuestionado es el alcance de casi todos nuestros conceptos fundamentales, hasta tal punto que se ha llegado a pensar en la necesidad de una nueva epistemología para interpretar semejante transformación. Hoy en día, tal como lo ha dicho con sutileza Bachelard, ¡la metafísica tradicional debe ser sustituida por una metamicrofísica! Aunque en ese caso es necesario evitar el peligro de conformarse con una micrometafísica como la de los autores que, en excesivo número, se han apresurado a justificar una vez más la libertad humana, basándola en el principio de indeterminación de Heisenberg... No obstante, si nos limitamos al problema epistemológico, la microfísica añade, sin duda alguna, un conjunto impresionante de hechos nuevos a la historia del análisis del conocimiento científico.

A este respecto, el hecho principal consiste en el desvanecimiento de la idea de objeto individual, por debajo del umbral de indeterminación. Ahora bien, esta desaparición, lejos de contradecir lo que hemos visto hasta ahora acerca del papel de la acción en el conocimiento y acerca del carácter operatorio de las interpretaciones de la realidad física, parece constituir por el contrario su mejor confirmación. En efecto, hasta tal punto los conceptos ordinarios del pensamiento (o, como los ha llamado P. Langevin, los conceptos "familiares") constituyen la expresión de la acción del sujeto sobre los objetos, que, en la escala de esta misma acción, permanecen

relativos, y que, por debajo de esta escala, es decir, cuando aparecen los límites de las actividades experimentales efectivas, se revelan todos más o menos inadecuados. El determinismo estadístico y la interpretación probabilística de los conjuntos demasiado complejos para ser analizados han subsanado hasta cierto punto estas dificultades, como acabamos de comprobar en el capítulo VI. Pero, al querer profundizar más allá de la apariencia global, y al pretender alcanzar el detalle de los fenómenos en el límite extremo de nuestros medios activos o prácticos de investigación, el pensamiento físico ha realizado, al fin y al cabo, una experiencia decisiva, sobre la que debemos insistir ahora: ¡que las propias limitaciones de la acción se traducen necesariamente por una transformación del pensamiento en cuanto tal!

Podrá decirse que esta correlación es natural; cosa fácil de decir, sin duda, una vez hecha la cosa. Pero colocando dicha relación en la perspectiva anterior a la de los trabajos actuales, cualquiera hubiera admitido que los obstáculos surgidos ante la acción del investigador sobre objetos, demasiado pequeños para ser modificados a voluntad por dicha acción, son de tal naturaleza que impiden una aplicación exacta de los conceptos clásicos; aunque no por ello necesiten una refundición total (acabamos de ver, por ejemplo, que el propio Planck sigue "postulando" la existencia de un infradeterminismo, declarándolo a la vez radicalmente inaccesible a nuestros medios de análisis: ha sido necesaria una nueva generación de investigadores, formados por los trabajos de Planck, para alcanzar la libertad mental necesaria y para poder liberarse de lo que las generaciones anteriores, y el propio Planck, consideraban evidencias). Recordando un ejemplo bien conocido en la actualidad, la imposibilidad en que se encuentra el físico de determinar en forma simultánea la posición y la velocidad de las partículas (porque la observación de su posición requiere una iluminación que modifica su velocidad) hubiera aparecido como una mera dificultad experimental o práctica, sin consecuencias con respecto a la utilización del concepto de objeto. Se habría planteado que cuando la partícula no se encuentra en la situación artificial en que la coloca la investigación de laboratorio, y es bombardeada por los fotones que emanan de la fuente luminosa utilizada por el investigador, tiene objetivamente e independientemente de nosotros, una velocidad y una posición determinadas en forma simultánea, aunque no determinables: y se habría agregado que el mero hecho de nuestra impotencia para *actuar* en esta escala demasiado pequeña no nos impone ninguna modificación de nuestras maneras de *pensar*, igual que la lejanía de una estrella, calculada en años luz, no nos exige que renunciemos a situarla en el mismo espacio y en el mismo tiempo que los del observador y a sincronizar, por medio de una simultaneidad absoluta, los acontecimientos que se producen en esta estrella con los del universo entero. Ahora bien, igual que las medidas espaciotemporales de grandes velocidades están referidas a la velocidad de los desplazamientos del observador respecto de lo medido, de la misma manera, (aunque esto tiene mayor importancia aún), no sólo los conceptos de tiempo y de espacio que intervienen en la descripción del comportamiento de los elementos micros-

cópicos, sino también el conjunto de los conceptos indispensables para este análisis, han debido ser modificados, por el solo hecho de las limitaciones de la acción en esta nueva escala. Así pues, el hecho nuevo esencial del conocimiento microfísico es, en efecto, la reconocida solidaridad de los medios de acción y de la estructura de los conceptos o del pensamiento, y un hecho semejante nada tiene de natural, si tratamos de representarlo con la visión de las cosas de un Descartes, de un Newton, de un Laplace, de un Clausius (y, en parte, ¡del propio Max Planck!).

Por otro lado, un hecho decisivo es que esta relatividad de los conceptos en relación con la escala de la acción ejercida sobre los microelementos, de ninguna manera significa un retorno al antropomorfismo, así como tampoco la relatividad propia de la mecánica einsteiniana ha provocado debilitamiento de la objetividad. Por el contrario, los límites de la acción nos informan sobre la realidad tanto como sobre el mecanismo del conocimiento, y los descubrimientos de la microfísica se han presentado tanto bajo la forma de una resistencia de los datos experimentales a las anticipaciones basadas en las acciones y en los conceptos propios de la escala macroscópica, como bajo la forma de nuevas expresiones matemáticas que se han hecho necesarias para traducir a la nueva escala la acción experimental (utilización de los "operadores").

Desde el punto de vista histórico, el problema del reparto de la energía en el espectro normal de la emisión térmica ha llevado a Max Planck a descubrir el carácter discontinuo de la energía; o dicho de otro modo, la existencia de los *cuantos* dinámicos. Podríamos decir, en este caso, que la realidad ha impuesto, de manera imprevista, un irracional más al esfuerzo deductivo del físico, al mostrar la imposibilidad de explicar mediante la teoría clásica de la radiación, las distribuciones observadas en el interior de un recinto impenetrable. Pero, a su vez, la introducción de una nueva álgebra para expresar estos datos imprevisibles de la experiencia, ha permitido a L. de Broglie deducir nuevos resultados (las ondas materiales), brillantemente confirmados luego por la experimentación. Así pues, una vez más, la unión entre la deducción y la experiencia en este nuevo campo, como en todos los demás campos de la física, ha llevado al planteo del problema general del que estamos hablando: cómo ajustar los conceptos del sujeto a una escala en la que la acción sobre los objetos se vuelve tan burda, con respecto a la pequeñez de éstos, que modifica profundamente las realidades sobre las que actúa, en vez de permitir manejarlas sin alterarlas, y de permitir observarlas desde el exterior.

Subrayamos, para terminar estas observaciones introductorias, que esta interacción particular entre el sujeto y los objetos, al modificar estos últimos por su desproporción de escala con aquél, nos trae de nuevo, aunque en el otro extremo de la serie de escalas, al problema que ya se nos había planteado en el capítulo IV, a propósito de la relatividad: ¿qué pasa con el conocimiento cuando las acciones del sujeto están integradas en las propias transformaciones que el sujeto estudia? Pero, mientras que en la escala de la mecánica celeste es el observador el que se ve integrado, con sus instrumentos de medida, en los sistemas objetivos (a los que por esa razón

no puede estudiar desde el exterior, sino que debe reconstituirlos mediante la coordinación de sus propias operaciones), en la escala microscópica es la transformación objetiva la que queda integrada, con sus propiedades métricas, en la acción del sujeto, de tal manera que éste tampoco puede estudiarlas desde afuera y debe reconstituirlas por el modo de concatenación de sus propias operaciones.

1. La interpretación microfísica de las relaciones espaciales. Uno de los aspectos más interesantes del sistema de los nuevos conceptos microfísicos se relaciona con la geometrización de la realidad. Bajo la influencia de la mecánica clásica, la física moderna no ha dejado de hacer intentos para explicar los fenómenos mediante figuras y movimientos, de acuerdo con el ideal cartesiano, agregando a esto las fuerzas, aunque en cuanto factores de aceleración (es decir, de nuevo, variaciones de movimientos), así como las masas y las energías, aunque de nuevo concebidas como geometrizables. La primera dificultad seria en este camino han sido precisamente los problemas relacionados con los fenómenos irreversibles, y principalmente con la entropía que se presenta como un cambio de estado más que como una transformación de carácter geométrico. Pero aquí también la interpretación probabilística del segundo principio de la termodinámica es compatible con una representación cinemática de la degradación de la energía y aun la implica, hasta cierto punto.

Pero con la microfísica, las cosas cambian, y la importancia creciente del concepto de "estado" origina el problema, si no del valor universal de la explicación geométrica, sí al menos de las transformaciones que es necesario introducir en los esquemas espaciales para que permanezcan adecuados a una determinada escala de fenómenos. Así, al principio de sus trabajos, Niels Bohr dio una imagen planetaria del átomo, según la cual se consideraba que los electrones gravitaban alrededor del núcleo atómico, de acuerdo con un sistema de interacciones en el cual la electricidad desempeñaba el papel de la gravitación. Pero la dificultad de semejante interpretación residía en el problema de la estabilidad del sistema, y por lo tanto en el de los estados: mientras que el sistema solar es estable, en virtud de la gravitación (de la que hay que recordar la explicación geométrica einsteiniana, por las curvaturas del espacio deformado por las masas), la estabilidad del átomo no podría quedar asegurada, sin más, por las interacciones eléctricas. Por eso pareció imposible atribuir a los electrones una trayectoria alrededor del núcleo del átomo, comparable a la de los planetas alrededor del sol, y la propia representación geométrica de la estructura del átomo dio lugar a revisiones sucesivas que la han vuelto, no sólo radicalmente diferente de los modelos macroscópicos, sino incluso, para ser exactos, irrepresentable. De ahí surge el gran interés epistemológico de una ciencia obligada a efectuar semejante inversión de los puntos de vista: al primar la consideración de los estados estables sobre la de los movimientos, la investigación se ve obligada a prescindir de la representación intuitiva. "No tenemos ninguna intuición de los procesos atómicos, dice Heisenberg. Felizmente, el tratamiento matemático de los fenómenos

no exige tal intuición." Y además: "es evidente que la aplicación simultánea, sin crítica, de las representaciones ondulatoria y corpuscular lleva a contradicciones inmediatas. Se puede, por lo tanto, extraer la conclusión de que el empleo de estas representaciones debe tener límites fijados por la naturaleza." [1]

A este respecto, conviene hacer dos observaciones previas. Una es que la osadía de las correcciones hechas a la representación de las relaciones espaciales en microfísica se ha visto posibilitada por las enseñanzas de la teoría de la relatividad. Convencidos de la relatividad de las magnitudes y de las estructuras geométricas con respecto a las velocidades y a los campos en cuyo interior se realizan las medidas, los microfísicos no han titubeado en considerar que los conceptos espaciales de carácter macroscópico no conservan a priori su valor en la escala microscópica. Por consiguiente, en los casos en que la trayectoria de un objeto microscópico se ha vuelto irrepresentable, los microfísicos han preferido sacrificar la representación geométrica y la propia generalidad de la idea de trayectoria, ante la expresión analítica de los hechos observados, antes que permanecer fieles a conceptos de otra escala, acerca de los cuales el ejemplo de la teoría de la relatividad les mostraba, por analogía, que no tenían nada intangible.

En segundo lugar, habría que insistir, desde ahora, en un carácter fundamental del pensamiento microfísico, sobre el que nos veremos obligados a volver a menudo: la primacía otorgada a la realidad experimental estricta, a la que Dirac llamará "lo observable", por oposición a los principios generales, de los que siempre puede sospecharse que sólo presentan una significación referida a las escalas macroscópicas. Ahora bien, esta primacía de "lo observable" entraña dos significados principales. En primer término, lo observable no constituye un mero dato sensible, pasivamente registrado: es el resultado, observado sin presuposiciones, de una acción experimental ejercida sobre la realidad, es decir de una intervención activa que modifica el objeto y da lugar a una manifestación medible. Existe pues aquí, igual que en el campo de la relatividad, una especie de delegación de poder del observador en favor de la medida, medida ésta que implica una estrecha solidaridad entre quien mide y lo medido. En segundo lugar, lo observable es traducido directamente a símbolos operatorios, de carácter matemático pero libres por completo con respecto a la representación geométrica. Las operaciones matemáticas (o más exactamente, como insistiremos más adelante, los operadores) que expresan lo observable, son, siempre, por lo tanto, en cierta manera, la prolongación en el plano del pensamiento deductivo, de las acciones experimentales que han permitido evidenciarlo; la acción antecede a veces a la operación intelectual que la prolonga, pero también puede ser sugerida por el propio juego de las combinaciones operatorias de orden deductivo.

[1] Heisenberg: *Principes physiques de la théorie des quanta.* Trad. Champion y Hochard, Gauthier-Villard, 1932, pág. 8.

Podemos citar a este respecto un pasaje muy sugestivo de L. de Broglie. Existen ciertas regiones de un campo microscópico, nos dice este autor, en las cuales se pueden seguir y localizar corpúsculos individuales; "pero si en determinado instante se da una superposición, aun parcial, de dichas regiones, se vuelve imposible observar con certeza la individualidad de los corpúsculos: puede entonces producirse un intercambio de papeles entre ellos, sin que pueda uno darse cuenta de ello más adelante".[2] Así pues, la situación puede compararse, en el caso de dos partículas, a la de dos mellizos indiscernibles de los que se puede observar la individualidad si viajan separados, pero cuya identidad no se puede determinar si ambos entran juntos a un edificio, del que luego sale uno solo. "Y es evidente, sin embargo, agrega L. de Broglie, que nuestra incapacidad para seguir el hilo de estas dos individualidades no impide a nuestros mellizos ser individuos autónomos. No obstante, hay que observar aquí que la física contemporánea presenta una nítida tendencia a adoptar una actitud fenoménica y a considerar como seudoproblemas los problemas que de ninguna manera pueden ser resueltos por la experiencia. Si aceptamos este punto de vista, el problema de saber si la individualidad de las partículas persiste cuando no puede ser observada, debe considerarse como un seudoproblema."[3]

Como puede verse, lo que L. de Broglie llama "fenomenismo" en este sorprendente ejemplo, constituye lo contrario del fenomenismo tradicional, que es sensualista y pasivo: significa, con propiedad, que los conceptos mantienen su sentido sólo si acompañan a una acción efectiva y que, cuando la acción de observar a una partícula individualizada no es posible, el concepto de objeto individual pierde su sentido. Poco más o menos de esta manera, en la etapa sensoriomotriz de la inteligencia, la criatura no cree en la permanencia del objeto individual mientras no puede reencontrarlo mediante acciones coordinadas (sustituyendo el concepto de permanencia por esquemas de resorción y de reaparición), y por el contrario, elabora de inmediato el concepto correspondiente, cuando las acciones de reencontrar pueden ser efectuadas en forma sistemática y organizadas entre sí gracias al grupo práctico de los desplazamientos (véase cap. V, § 1). Pero el carácter sorprendente de la manera de pensar del microfísico (y lo que distingue su fenomenismo del fenomenismo del bebé) es que, no sólo se niega a admitir conceptos que desborden la acción efectiva, sino que además construye todo un sistema de operaciones intelectuales y matemáticas para traducir deductivamente esta desaparición del objeto en el plano de la acción experimental: el juego de las funciones de ondas antisimétricas o simétricas, los símbolos del "estado" y de lo "observable" están ahí para expresar operacionalmente las desapariciones y las reapariciones del objeto, en un sistema de conceptos a la vez matemáticamente rigurosos y que no desborden del marco de lo que en realidad se puede alcanzar en el curso de la manipulación práctica.

[2] D. de Broglie: *Continu et discontinu en physique moderne*, pág. 122.
[3] *Ibid.*, pág. 123.

Es evidente, entonces, que en un sistema de conceptos semejante, el espacio y el tiempo no podrían conservar las estructuras que presentan en escala macroscópica. La localización en el espacio o el instante temporal, las trayectorias o las duraciones, las magnitudes y las medidas, en resumen, todos los conceptos usuales, experimentan una profunda transformación, provocada por las propias limitaciones de la acción experimental sobre los objetos físicos, y por la voluntad de no traspasar esos límites por una extrapolación ilegítima del pensamiento.

El problema de la localización en el espacio presenta, a este respecto, particular interés. Como lo ha mostrado G. Bachelard, con su acostumbrado talento,[4] el postulado esencial del realismo ha sido siempre la creencia en una localización posible de los objetos, burda localización del "lugar" ocupado, o localización sutil y exacta. Ahora bien, aunque la localización "puede brindar certezas con respecto a una *acción de conjunto*" (pág. 22), deja de presentar una significación precisa en microfísica, porque en esta escala, "la estructura interna de la célula topológica es una *estructura de probabilidad*" (pág. 35). Si no es individualizable un elemento microcósmico, tampoco es localizable; o con mayor exactitud: por no ser localizable no constituye un objeto individualizado: "no podemos hablar de *un elemento de la realidad* sino en cuanto *realiza* un caso de localización. Es menos que un objeto, es sólo una experiencia" (pág. 33). Y sucede así porque "la experiencia de la localización no corresponde nunca a un mero contacto; es siempre un choque. Nunca es una visión gratuita; es siempre un intercambio energético" (págs. 35-6). "No podríamos tocar lo infinitamente pequeño sin trasmitirle una velocidad infinita... El contacto es un concepto de la experiencia macroscópica que no tiene sentido en microfísica" (págs. 55-6). En otras palabras, "una cosa" es "siempre solidaria con un acontecimiento" (pág. 34), y el único acontecimiento que puede observarse en microfísica es el provocado por la acción del investigador, acción que, dada su escala, es a la vez transformación y desplazamiento: "en adelante, es imposible separar geometría y energética en el nivel del elemento" (pág. 38). "En otras palabras, repetimos: en la ciencia cuántica, el concepto de punto material en reposo absoluto es inconcebible; no, como en la ciencia relativista, por la imposibilidad de fijar ejes de referencia absolutos, sino por un relativismo en cierto modo más profundo, no tan exclusivamente geométrico, puesto que vincula la geometría y la dinámica" (pág. 48). De ahí, por fin, la sorprendente fórmula de Bachelard: para el macrofísico "encerrar es agitar", mientras que para el realismo corriente "encerrar es estabilizar" (pág. 48).

Vemos así, de la manera más instructiva, que en el límite inferior de la acción sobre lo real, la localización supone una intervención activa del sujeto y resulta, por este mismo hecho, contradictoria en su forma estadística y puntual. Otro ejemplo citado por L. de Broglie permitirá

[4] G. Bachelard: *L'expérience de l'espace dans la physique contemporaine*. PUF, pág. 194.

comprender la actitud del físico a este respecto. Sea una pantalla perforada, por cuyas perforaciones pasa un fotón dirigido hacia una placa fotográfica que registra las franjas de interferencias: "...la cuestión de saber... por cuál agujero ha pasado el fotón no tiene ningún sentido, porque el fotón no se manifiesta por ninguna acción ejercida a su paso a través de la pantalla y sólo ejerce finalmente una acción sobre el dispositivo (placa fotográfica) que registra las franjas. Podríamos desde luego tratar de poner de manifiesto el paso del fotón por una de las perforaciones, pero entonces habría que montar un dispositivo sobre el cual actuaría el fotón en el momento de su paso a través del agujero mencionado; ahora bien, si el fotón actuase sobre este dispositivo, se tornaría incapaz de participar en el fenómeno de interferencia. Así pues, no se puede obtener el fenómeno de interferencia más que cuando es imposible decir por cuál agujero ha pasado el fotón".[5] Ante una manera de pensar tan pasmosa para el realismo vulgar, sentimos la tentación de detener al investigador: diga, si lo desea, que le es imposible determinar por cuál agujero ha pasado el elemento, pero no afirme que el problema no tiene sentido, porque un ojo hipotéticamente capaz de discernir un fotón, lo seguiría sin dificultad y localizaría su paso exacto. Pero el problema es más sutil, porque nada prueba que el fotón fuera ya, en el curso de su movimiento, el corpúsculo localizable en que se ha convertido al chocar con la palaca fotográfica. Sólo estaba ahí como "presencia potencial",[6] y su presencia real tenía la forma de la onda que le está asociada. "Así, pues, se puede decir que, cuando el fotón manifiesta su aspecto corpuscular al localizarse, su aspecto ondulatorio desaparece, mientras que por el contrario, cuando su aspecto ondulatorio se afirma, toda localización que traduzca su naturaleza corpuscular es imposible. Este es uno de los aspectos del famoso principio de incertidumbre de M. Heisenberg". En resumen, "el fotón asociado a la onda sólo se localiza en el momento en que se produce un fenómeno observable".[7] Volvemos así a la conexión íntima entre la idea microfísica de localización y una intervención activa del investigador cuya acción es necesaria para producir un "observable".

Si es así, tampoco podría hablarse de trayectorias atribuibles: "mientras el fotón esté propagándose entre la fuente de luz y la placa fotográfica, antes de haber producido cualquier efecto observable, no se podrá de ninguna manera atribuirle una trayectoria y sólo la propagación de la onda luminosa asociada nos permitirá representar el desplazamiento del fotón".[8] Pero una onda ¿no constituye acaso por sí misma una especie de trayectoria? De ningún modo, porque la onda asociada a un corpúsculo no es más que "una onda de probabilidad", que expresa ni más ni menos que la probabilidad de reencontrar los cuerpos, y no corresponde a un desplazamiento continuo y simple. Lo mismo sucede con los electrones y sus ondas asocia-

[5] *Le continu et le discontinu*, págs. 35-36.
[6] *Ibid.*, pág. 36.
[7] *Ibid.*, pág. 37.
[8] *Ibid.*, pág. 35.

das: "La intensidad de la onda asociada a una partícula material representaría en cada punto la probabilidad de que la partícula se manifieste por una acción observable localizada en ese punto." [9]

En general, "las relaciones de incertidumbre se oponen a que podamos conocer a la vez la figura y el movimiento",[10] lo que equivale a excluir el propio principio de la explicación cartesiana. Cuanto más determinamos la configuración de un sistema atómico, menos conocemos su estado dinámico, y viceversa. "La imperfecta localización de los corpúsculos en cada instante no permite atribuirles constantemente una velocidad bien definida. Se opone también a que se pueda representar mediante una trayectoria, es decir mediante una curva continua, la serie de posiciones de un corpúsculo en el curso del tiempo. El determinismo de los movimientos, tal como estaba concebido en mecánica clásica, queda disminuido por ello, y las incertidumbres de Heidenberg... marcan de alguna manera sus límites." [11]

La principal diferencia entre las representaciones microfísicas y el espacio de la cinemática clásica se refiere a la discontinuidad inherente a los fenómenos microcósmicos y a la existencia del "cuanto de acción". "El propio concepto de cuanto de acción supone, en efecto, una especie de vínculo entre el marco del espacio y del tiempo y los fenómenos dinámicos que intentamos localizar en él, vínculo totalmente insospechado por la antigua física." [12] Por consiguiente, "si pudiéramos imaginar (pero en realidad no se puede, porque ¿qué serían sus órganos sensoriales?) un observador microscópico que prosiguiera sus investigaciones en el interior de los sistemas atómicos, los conceptos de espacio y de tiempo tal vez no tuvieran para él ningún sentido: al menos, no tendrían el mismo sentido que para nosotros".[13] "Por otra parte, es muy difícil prever cómo será posible, si es que algún día llega a serlo, sustituir los conceptos tradicionales de espacio y de tiempo para lograr una descripción más adecuada de las unidades elementales y de sus vínculos naturales, tanto más cuanto que siempre será necesario volver, aparentemente, a nuestras concepciones ordinarias para expresar las previsiones acerca de los posibles resultados de las observaciones y de las experiencias." [14]

Estas reflexiones del gran físico son sumamente instructivas para una epistemología genética, es decir para una teoría del conocimiento que trata de explicar el destino de los conceptos científicos fundamentales por la manera efectiva en que han aparecido en el comportamiento del sujeto. En efecto, podríamos preguntarnos, como lo ha sugerido R. Wavre, no sólo qué pensaría un observador intraatómico, sino qué se descubriría estudiando un "bebé atómico", es decir, un ser que naciera al pensamiento en escala microscópica, y qué mostrarían sobre el desarrollo de esta criatura investi-

[9] *Ibid.*, pág. 40.
[10] *Ibid.*, pág. 73.
[11] *Ibid.*, pág. 118.
[12] *Ibid.*, pág. 66.
[13] *Ibid.*, pág. 71.
[14] *Ibid.*, 121.

gaciones psicológicas análogas a las que se pueden hacer sobre sujetos reales.[15]

En realidad, casi no hay necesidad de imaginar al observador microscópico o al bebé atómico para extraer la enseñanza psicológica que nos brinda el pensamiento microfísico. Porque el microfísico contemporáneo se impone por sí mismo como ideal científico, una especie de retorno a lo primitivo; pero un retorno voluntario y muy lúcido, sugerido por esa regla esencial de la física atómica que exige no traspasar con el pensamiento los límites de la observación. Operando sobre una realidad que revela sus misterios sólo de una manera muy fragmentaria, descubre los objetos y sus propiedades por medio de acciones experimentales muy circunscriptas, limitadas sobre cada punto por la propia fuerza de las cosas, y tanto más difíciles de coordinar entre sí cuanto que es imposible realizarlas en forma simultánea. Se esfuerza entonces por reconstruirse una mentalidad virgen de cualquier preconcepto en la medida en que sus acciones habituales se encuentran en el límite de la escala operatoria: se esmera, como el niño, en no creer en los objetos si no en la medida en que puede reencontrarlos, y no quiere conocer del espacio y del tiempo sino aquello que él puede construir, reconstituyendo una por una las relaciones elementales de posición, de desplazamiento, de forma, etcétera.

Ahora bien, cosa sumamente instructiva, ese retorno a lo primitivo, comparable en cierto sentido con la visión ingenua que los grandes pintores tratan en forma consciente de recobrar, tiene éxito por partida doble: desde el punto de vista físico, puesto que ha obtenido magníficas victorias teóricas y ha progresado, incluso demasiado, en sus aplicaciones técnicas; pero también psicológicamente, si se puede decir así, puesto que alcanza, en efecto, ciertos aspectos del espacio físico genéticamente elemental, del mismo modo que la topología y la teoría de los conjuntos alcanzan lo que es mentalmente elemental en el terreno del espacio matemático y de la construcción del número. Por más difíciles que sean de aprehender, en su formalismo físico-matemático (axiomatizado por lo demás a la manera de una teoría pura [16]), los "espacios abstractos" y los "espacios de configuración" de que hace uso el físico al darse un número de dimensiones igual al de los grados de libertad del sistema considerado, no traducen en efecto sino el resultado de las coordinaciones más directas que la acción del investigador sobre la realidad consigue establecer. Así, no es sólo por lo que afirman, sino sobre todo por las conexiones habituales de las que se ven obligados a prescindir, es decir, por su aspecto negativo y no sólo por el positivo, por lo que son reveladores.

A este respecto, el espacio microfísico presenta el doble interés de no ser siempre arquimediano, es decir, de preferir los conceptos topológicos de entorno y de envolvimiento a los conceptos métricos de distancia y de

[15] R. Wavre: *Intuitions immédiates et médiates*. Mélanges A. Reymond (*Rev. Théol. Phil.*). Lausana, 1940, págs. 137-145.

[16] J. L. Destuoches: *Corpuscules et systèmes de corpuscules*. París, Gauthier-Villars.

movimiento; y, por otra parte, de no ser continuo sino de proceder mediante relaciones entre conjuntos de puntos finitos y discontinuos en lugar de instalarse de entrada en el continuo matemático. Ahora bien, desde este doble punto de vista, las relaciones topológicas elementales (que ni son metrizables, ni siquiera continuas en el sentido geométrico del término), a las que el espacio microfísico debe limitarse en general, son sin duda afines a las relaciones topológicas concretas que se encuentran en el punto de partida del concepto de espacio, antes de cualquier medida y antes de que la idea del continuo sea generalizada a los espacios vacíos y llenos (vol. I, cap. II, § 7): así, el espacio ligado a los límites de la acción sobre la realidad tiende a parecerse, por algunos de sus aspectos, al espacio de los orígenes de toda acción.

J. L. Destouches, en sus ensayos de axiomatización de los espacios abstractos necesarios para la microfísica, parte de la relación de vecindad, determinada físicamente por "experiencias de localización" que desembocan en la constitución de "células experimentales". Las proximidades de éstas constituyen un "cuasi espacio" de carácter finito, es decir, que sólo admite un número limitado de corpúsculos en la vecindad de un microobjeto determinado, lo que introduce el discontinuo en el propio espacio abstracto.[17] En este caso, la distancia métrica queda suplantada por la proximidad estadística. En cuanto a los espacios de configuración, que permiten estudiar la propagación de "ondas de probabilidades" asignando 3 N dimensiones a un sistema de N partículas dadas, ya no se trata de modelos concretos, sino de la expresión operatoria más libre de cualquier representación, de la observación probabilista de los hechos.

De estos espacios de carácter "abstracto-concreto", como dice G. Bachelard, es decir, cuyos "temas de abstracción pueden brindar marcos de realización",[18] podemos extraer la conclusión de que su carácter epistemológico esencial no reside en la búsqueda de lo elemental en lo más general, papel de la topología propiamente geométrica o de la "métrica general" de carácter matemático, sino que consiste, por el contrario, en traducir a operaciones de pensamiento lo más simple posibles las operaciones de la propia acción en lucha con una realidad cuyas relaciones internas hay que reconstruir paso a paso, sin la posibilidad de otra visión de conjunto que no sea la estadística. Son, pues, espacios que expresan tanto los actos de coordinación y de organización del sujeto que actúa sobre la realidad corpuscular, como las relaciones descubiertas entre los microobjetos. Como el espacio elaborado por la actividad psicológica inicial, estos espacios situados en la escala-límite de nuestra experimentación son, pues, espacios de acción y no proporcionan la representación de un marco fijo, puesto que en este nivel de realidad, no existe marco aislable, sino una doble solidaridad entre el contenido físico y su marco, como también entre éste y las acciones ejercidas sobre aquél.

[17] J. L. Destouches, *loc. cit.*, t. I, pág. 93.
[18] Bachelard: *L'expérience de l'espace*, págs. 124-134.

2. El concepto microfísico del tiempo y las relaciones entre los espacios-tiempos de escalas superpuestas. Si el concepto de espacio debe ser readaptado bajo nuevas formas a la escala microfísica, se comprende que lo mismo suceda a fortiori con el tiempo que, más aún que el espacio, depende del contenido físico que lo enriquece. En efecto, hemos comprobado (cap. IV, § 2) que, genéticamente, el tiempo no corresponde a una intuición simple, como la velocidad, sino que, antes de poder ser traducido métricamente, constituye en esencia una relación entre el espacio recorrido y la velocidad o entre el trabajo realizado y la potencia. Resulta claro, por lo tanto, que en un dominio en el que ni el camino recorrido ni la velocidad constituyen conceptos generales, el tiempo no podría presentarse bajo la misma forma que en la escala macrofísica.

Pero, en la medida en que el análisis geométrico es sustituido en microfísica por el de los "estados", interviene un tiempo más elemental que aquel cuya vinculación con los desplazamientos o cambios de posición muestra la realidad macroscópica: es el tiempo constituido por los cambios de estado. En efecto, los cambios de estado de ψ se suceden de acuerdo con un orden temporal y admiten una duración. Ahora bien, esta duración también constituye una relación, y es comparable en este sentido con las relaciones temporales macroscópicas.[19] En efecto, podemos extraer de la ecuación de Schrödinger la siguiente relación elemental[20]: $dt = d\psi / \mathcal{H}\psi$, donde $\mathcal{H}\psi$ es la "energía total" del sistema.

Pero la existencia de tal relación no es suficiente para resolver todos los problemas fundamentales que origina el concepto microfísico del tiempo. En primer término, si, para un solo sistema se concibe que los cambios de estado y los estados estacionarios situados entre estos cambios, constituyen una secuencia determinada y por consiguiente un orden de sucesión temporal, ¿cómo establecer una relación de sucesión o de simultaneidad entre los acontecimientos que pertenecen a varios sistemas separados? Por otra parte, ¿en qué consiste la duración de los estados estacionarios? ¿Podemos situarlos aún en el tiempo? Por fin, ¿cómo seguir el detalle de las transiciones bruscas y cómo conciliar la discontinuidad esencial que las caracteriza con la idea de una duración, aun expresada en la forma muy general de la relación que acabamos de mencionar?

Por eso han existido dudas sobre la significación de las relaciones temporales allí donde ni las trayectorias ni las velocidades son enteramente determinables. Según N. Bohr, nos dice L. de Broglie, "la existencia de estados estacionarios del átomo, colocados en cierto modo fuera del tiempo, y la imposibilidad de describir las transiciones bruscas que hacen pasar el átomo de un estado estacionario a otro, ya le sugerían la profunda idea de que una descripción completa de los fenómenos cuánticos de la escala atómica debe trascender, al menos en ciertos aspectos, el marco clásico

19 Véase cap. IV, § 3 (cap. V, al final).
20 Véase A. Mercier: *Stabilité, complémentarité et déterminabilité*. Lausana, Rouge, 1942.

del espacio y del tiempo".[21] Y de Broglie añade: "la idea de un espacio físico de tres dimensiones que constituye el marco natural en cuyo interior se localizan todos los fenómenos físicos, y la idea de un tiempo formado por la sucesión de los instantes y que constituye un continuo de una dimensión, son ideas extraídas de la experiencia sensible..." y, en la escala "muy sutil de los fenómenos atómicos, en que el valor del cuanto de acción deja de ser despreciable, la localización de un fenómeno en el espacio y en la duración ya no parece independiente de sus propiedades dinámicas y en particular de su masa".[22] Y G. Bachelard, al comentar la axiomática de Destouches, dice que las definiciones de los puntos "no comprometen ni siquiera la *continuidad del tiempo.* Por ejemplo, la definición del centro de gravedad de un sistema de puntos materiales sólo será válida en los instantes, necesariamente separados, en que los puntos estén localizados, es decir en los instantes en que se conozca la localización".[23]

En suma, al ser desquiciadas las determinaciones de posiciones, trayectorias y velocidades, quedan cuestionadas la continuidad temporal y el propio tiempo, igual que el espacio continuo, cosa psicológicamente comprensible. Ni la simultaneidad, con la seriación de las relaciones de orden, ni la igualación de las duraciones sincrónicas, con el encastre de las duraciones en un continuo unidimensional, pueden concebirse según el modelo macroscópico sin estas determinaciones cinemáticas. La microfísica sustituye el concepto macroscópico de la velocidad (fundamento del tiempo, si es que en realidad el tiempo constituye, como lo muestra el desarrollo psicológico, una coordinación de las velocidades), por la "velocidad dinámica", producto de la masa por la cantidad de movimiento, siendo ésta definida de manera más general que en la mecánica clásica. Por lo tanto, sólo quedan, como principio de formación del tiempo, los cambios de estado, tal como lo recordábamos al principio, pero con las limitaciones que impone la regla esencial del pensamiento microfísico de atenerse exclusivamente a los observables, con sus lagunas y sus discontinuidades, sin vincularlos por medio de marco alguno que desborde la acción actual y efectiva del experimentador.

Pero si bien estas conclusiones permiten verificar, gracias a su aspecto negativo, la interpretación epistemológica según la cual el espacio físico y el tiempo son el resultado, tanto de las acciones efectuadas por el sujeto en nuestra escala, como de los caracteres globales propios de los objetos macroscópicos —"el espacio-tiempo, dice de Broglie, aparece así sólo con un valor medio y macroscópico".[24]— originan, por otra parte, un problema en relación con su aspecto positivo: ¿cómo explicar las relaciones entre la génesis psicológica de estos conceptos y su génesis física, por así decirlo, a partir de una escala inferior en la que sólo son parcialmente valederas? En el sustancial prefacio de su obra sobre *Le continue et le discontinu en*

[21] *Le continu et le discontinu*, pág. 69.
[22] *Ibid.*, págs. 70-71.
[23] *L'expérience de l'espace*, pág. 135.
[24] *Le continu*, pág. 202.

physique moderne, L. de Broglie plantea el problema de una manera sumamente sugerente: "¿Qué son, en efecto, el espacio y el tiempo? Son marcos sugeridos por nuestras percepciones usuales, es decir marcos en que pueden alojarse los fenómenos esencialmente estadísticos y macroscópicos que nuestras percepciones nos revelan. ¿Por qué sorprenderse, entonces, de ver que el grano, realidad fundamentalmente elemental y discontinua, se niega a insertarse con exactitud en este marco burdo que sólo sirve para representar promedios? Ni el espacio ni el tiempo, conceptos estadísticos, nos permitirán describir las propiedades elementales de los granos; por el contrario, una teoría lo suficientemente hábil debería poder deducir, a partir de las medias estadísticas obtenidas sobre las manifestaciones de entidades elementales, ese marco de nuestras percepciones macroscópicas, constituido por el espacio y el tiempo." [25] Ahora bien, si los granos eluden la localización espacio-temporal, "en cambio las probabilidades de sus localizaciones posibles dentro de este marco están representadas por funciones generalmente continuas, que tienen el carácter de magnitudes de campo: estos «campos de probabilidad» son las ondas de la mecánica ondulatoria, o por lo menos magnitudes que se calculan a partir de estas ondas" ... Podemos por lo tanto "suponer que el marco continuo constituido por nuestro espacio y nuestro tiempo está generado, en cierta manera, por la incertidumbre de Heisenberg; la continuidad macroscópica es entonces el resultado de una estadística que opera sobre elementos afectados de incertidumbre".[26]

Es clara la interesantísima significación de estas afirmaciones, que en un primer momento sorprenden: el espacio físico y el tiempo son constituidos por el sujeto a medida que las acciones de éste operan sobre conjuntos más estables y más determinables de acuerdo con una probabilidad que tiende hacia la certeza característica de toda coordinación operatoria. Recíprocamente, la ausencia de relaciones espacio-temporales generales en la escala inferior, dependerá de la imposibilidad de efectuar coordinaciones simples entre las acciones del experimentador, porque éstas, al no tener influencia sobre el detalle de los fenómenos, no alcanzan a determinarlos de acuerdo con las composiciones necesarias para la construcción de un espacio-tiempo: la consideración de los cambios de estado y de los estados estacionarios intercalados entre dichos cambios proporciona los elementos de un orden temporal y de la construcción de las duraciones, y permite así iniciar la construcción del tiempo en función del cambio en general y de su dinamismo; pero esta consideración no satisface aún, ni mucho menos, las condiciones de un continuo de duración, el que sólo se constituirá mediante una coordinación de las velocidades macroscópicas. Ahora bien, lo que en microfísica anuncia con mayor claridad el modo de coordinación que ha de engendrar el marco espacio-temporal, es que el modo de sistematización más coherente encontrado para coordinar las localizaciones de las partículas según un "conjunto espectral", consiste precisamente en una

[25] *Ibíd.*, pág. 9.
[26] *Ibíd.*, pág. 10.

composición operatoria en la que los operadores constituyen "grupos", como los que se aplican a las transformaciones cinemáticas en escala macroscópica; pero estos grupos no describen solamente las reparticiones de los corpúsculos en cuanto tales: incluyen también las acciones realizadas por el experimentador para reencontrar estas partículas (acciones de selección u "operadores selectivos"). Ante este modo de composición tan particular, característico de las operaciones de los microfísicos, es como mejor se entiende la doble naturaleza de la construcción que, a partir de los cambios de estado, llega, con la coherencia estadística creciente de los conjuntos en juego, a una sistematización espacio-temporal general: esta construcción se apoya por cierto en lo real, en el sentido de que, si en el universo no existieran ni el cambio ni el movimiento, no conoceríamos el tiempo; pero es además el resultado, en participación indisociable con los aportes del objeto, de la coordinación de las acciones ejercidas sobre las cosas. A este respecto, la epistemología microfísica del tiempo coincide con las enseñanzas del espacio microcósmico en cuanto a las relaciones entre la génesis de los conceptos y los límites inferiores de la acción.

3. El objeto y la causalidad microfísicos. A lo largo de esta obra, hemos insistido a menudo en el hecho de que el concepto de objeto no depende, como alguien lo ha sostenido, de una mera identificación apoyada en las percepciones, sino de una coordinación efectiva de las acciones o de las operaciones: el objeto individual es, esencialmente, lo que puede ser reencontrado, primero gracias a meras conductas de rodeo y de retorno coordinables en un "grupo" práctico de los desplazamientos; luego, mediante operaciones mentalizadas que internalizan estos rodeos y retornos efectivos bajo la forma de operaciones inversas y de asociatividad, propias de todos los grupos y agrupamientos deductivos elementales. Ahora bien, si este origen activo de la idea de objeto es evidente, desde el punto de vista psicológico, a partir de la etapa sensoriomotriz (en que la percepción no basta por sí sola para generar la permanencia de los objetos individuales), es sumamente instructivo redescubrir, en la otra punta del desarrollo mental, un mismo mecanismo, a la vez práctico e intelectual, de formación del objeto: el hecho de que dificultades debidas a las limitaciones, no ya iniciales sino terminales de las acciones de localización, que constituyen la individualidad del objeto, coincidan con lo que nos muestra la génesis mental del objeto, confirma la interpretación general de los conceptos microfísicos, considerados como la expresión de un pensamiento condicionado por los límites de la acción.

Resulta un lugar común mencionar el célebre "umbral de indeterminación" de Heisenberg, por debajo del cual no podemos asignar de manera invariante a un microelemento, ni la naturaleza de un corpúsculo u "objeto" en el sentido macroscópico del término, ni la de una onda propiamente dicha, puesto que es a veces uno y a veces otra. Retomando el ejemplo de los experimentos fotoeléctricos, citado en el § 1 a propósito de la imposibilidad de una localización espacial, el análisis del fenómeno de

las interferencias ocasionado por el paso de un fotón a través de una pantalla perforada, lleva, según L. de Broglie, a la siguiente contradicción. Por una parte, un solo fotón al pasar por la pantalla "produce un fenómeno de interferencia en que todos los agujeros desempeñan un papel simétrico, sin que se pueda decir que el fotón haya pasado por uno o por otro": por lo tanto, es onda, ya que si fuera objeto, tendríamos que atribuirle "dimensiones inaceptables". Pero, por otra parte, "el efecto fotoeléctrico nos muestra cómo el fotón aporta toda su energía a una muy pequeña región del espacio y produce en ella un efecto totalmente localizado"[27]: es por lo tanto objeto, ya que está localizado. Para salir de estos atolladeros, los microfísicos han concebido al elemento como onda y corpúsculo a la vez.

Se trata en primer término de modificar el concepto de corpúsculo, manteniendo uno de sus aspectos, el de "agente, sin posibilidad de descomposición, capaz de producir efectos observables, bien localizados, en los que se manifiesta la totalidad de su energía",[28] y dejando el otro aspecto a un lado, "el de pequeño objeto que tiene en cada instante una posición y una velocidad bien determinadas en el espacio, y que por lo tanto describe una trayectoria lineal". Luego, hay que modificar paralelamente, el propio concepto de onda, cuya fase y cuya amplitud tampoco se pueden determinar simultáneamente. La onda unida a cada corpúsculo, según la hermosa hipótesis teóricamente establecida por L. de Broglie y confirmada por el experimento de la difracción de los electrones por los cristales (análoga a la difracción de la luz), es una onda cuyo "campo" es en realidad un campo de probabilidad: la intensidad de esta onda representa "en cada punto la probabilidad de que la partícula se manifieste por una acción observable, localizada en este punto".[29] La teoría de estas ondulaciones y de su vinculación con los efectos observables de las partículas, constituye la mecánica ondulatoria.

De estas concepciones se desprende, no sólo que un mismo elemento no tiene por qué ser permanente, sino también que dos microobjetos pueden confundirse en determinado momento; "puede entonces producirse entre ellos un intercambio de papeles sin que posteriormente podamos darnos cuenta de ello".[30] Esta indiscernibilidad y esta discernibilidad alternadas, se encuentran hasta en el formalismo de la mecánica ondulatoria, lo que constituye un ejemplo de cómo, en microfísica, los límites de la acción se traducen en operaciones: ciertas "funciones de ondas" permanecen invariables, o simplemente cambian de signo, cuando se permuta en ellas el papel de dos corpúsculos. Por otra parte existen partículas con función de ondas "antisimétricas" (las principales son los electrones): como no puede haber nunca dos de ellas con el mismo "estado de movimiento", surgen funciones de ondas cuyas formas estadísticas difieren con arreglo a estas "exclusiones".

[27] *Le continu*, págs. 32-33.
[28] *Ibíd.*, pág. 35.
[29] *Ibíd.*, pág. 40.
[30] *Ibíd.*, pág. 122.

Ahora bien, a estas profundas transformaciones del concepto de objeto, vinculadas hasta la evidencia con la imposibilidad de "reencontrar" un corpúsculo mediante una acción especializada y con la necesidad de sustituir estas acciones diferenciadas por operaciones estadísticas, las acompañan modificaciones correlativas de las relaciones causales, tan esenciales como aquéllas. Así, la indiscernibilidad espacial de las partículas provoca la constitución de formas nuevas de interacción: la "interacción de intercambio" y la "interacción de exclusión" que traducen en términos de causalidad los resultados de la no permanencia del objeto. "Existe cierta antinomia, escribe L. de Broglie, entre la idea de individualidad autónoma y la de sistema, en que todas las partículas actúan unas sobre otras. En todos los campos, la realidad parece ser intermediaria entre estas dos idealizaciones extremas y, para representarla, debemos tratar de establecer entre ellas una especie de compromiso".[31] En otras palabras, para emplear el lenguaje utilizado en el capítulo VI (§§ 3 y 6), la existencia de objetos individuales sobre los cuales podemos actuar, permite la constitución de composiciones aditivas, mientras que su indiscernibilidad en distintos grados sólo permite la utilización de composiciones no aditivas que expresen una mezcla. En escala macroscópica, estas últimas composiciones se imponen ya en los casos de indiscernibilidad práctica y L. de Broglie cita, como ejemplo del compromiso que menciona, la idea de "energía potencial de interacción entre partículas",[32] pero en situaciones en que sin embargo "podemos razonar con bastante aproximación como si los corpúsculos conservaran una masa, una localización y por lo tanto una individualidad bien definidas".[33] Pero, agrega, tras haber comparado la individualidad y la interacción a las realidades "complementarias", "la idea de energía potencial, cuyo aspecto misterioso a menudo ha sido visto como uno de los escándalos de la física, traduce en realidad, en forma profunda aunque un tanto desmañada, la coexistencia y la limitación recíproca de la individualidad y de la interacción en el mundo físico".[34] En microfísica, por el contrario, la extensión de la idea de interacción expresa con total claridad el desmembramiento de la individualidad del objeto. A falta de esta individualidad, así como de las localizaciones y del posible cálculo de las distancias, la mecánica ondulatoria ha resuelto el problema del análisis de estas interacciones situándolas en los "espacios de configuración" a los que hemos aludido.

En resumen, la causalidad microfísica consiste sobre todo en relaciones de interacción, creadoras de "totalidades" distintas de la suma de sus partes, por oposición a las interacciones de la mecánica clásica que dependen de una composición aditiva completa (la composición de las fuerzas, por ejemplo). Estas interacciones, correlativas de la no permanencia del objeto, explican, en definitiva, la imposibilidad de constituir en microfísica un

[31] *Ibid.*, pág. 128.
[32] *Ibid.*, pág. 128.
[33] *Ibid.*, pág. 117.
[34] *Ibid.*, pág. 117.

marco espacio-temporal en general, ya que el espacio físico y el tiempo son solidarios con su contenido dinámico y puesto que este contenido consiste en objetos y acontecimientos a la vez discontinuos e interactuantes entre sí, sin composición aditiva posible. Espacio y objeto, tiempo y causalidad, forman, tanto en microfísica como en las demás escalas, un sistema interdependiente de conceptos, puesto que el espacio físico y el tiempo expresan la composición de las acciones efectuadas sobre los objetos y sus relaciones causales. No obstante, en nuestra escala, estas acciones pueden ser directa y totalmente compuestas entre sí, porque se han desarrollado en función de los objetos accesibles de inmediato: como resultado, el espacio y el tiempo parecen constituir marcos independientes de su contenido, porque constituyen el marco de toda acción referida a la realidad y porque así se confunden sin solución de continuidad con las operaciones lógico-matemáticas, verdaderas coordinaciones generales de la acción. Por el contrario, en los límites superior e inferior de nuestra actividad, la disociación entre el marco y su contenido deja de ser posible, porque las composiciones de nuestras acciones no son ni directas ni completas. En los límites superiores, como ya hemos visto, el sujeto está incluido en los fenómenos que deben ser medidos y por consiguiente sus metros o sus relojes son solidarios con las transformaciones que deben ser detectadas, en lugar de permanecer exteriores a ellas: existe entonces indisociación entre el espacio o el tiempo y el punto de vista de los observadores, que depende de las velocidades, de las masas, de los campos de gravedad, etc. En el límite inferior, se produce la recíproca: es el fenómeno el que está incluido en la acción del sujeto, puesto que los objetos permanecen referidos a la acción que los reencuentra y puesto que las interacciones implican el "intercambio", es decir la posible confusión de los objetos. Por eso, el espacio no puede dar lugar a la medición directa de las distancias y de las trayectorias, sino que queda dominado por la vecindad o la dispersión probables, y por eso el tiempo no puede ser el resultado de una coordinación de las velocidades, ya que éstas se mantienen como "velocidades dinámicas", sin constituir relaciones entre el espacio y el tiempo: de ahí la interdependencia entre el marco espacio-temporal, o mejor dicho los primeros lineamientos de la composición espacio-temporal, y el contenido formado por los objetos y todas sus interacciones.

En cuanto a la solidaridad entre la naturaleza causal particular de las interacciones microfísicas y la no individualización del objeto, tiene una evidente importancia epistemológica. Podemos distinguir dos aspectos de la cuestión: uno, matemático, relacionado con las operaciones probabilísticas, y el otro, experimental, relacionado con las acciones del observador. Desde el punto de vista matemático, la interacción está incorporada a la probabilidad en sí misma: "no llegamos, dice Eddington, a la distribución de las probabilidades iniciales de un enjambre de partículas, con sólo combinar las distribuciones de las partículas aisladas como si fueran independientes. Por tal razón, se dice que un enjambre de partículas eléctricas obedece a la «nueva estadística» o estadística de Fermi-Dirac, en oposición a la «estadística clásica» que representa el resultado burdo que se obtendría

combinando las probabilidades independientes unas de otras." [35] Este artificio operatorio del pensamiento pone de manifiesto las limitaciones de la acción, en el sentido de que la interacción de intercambio, expresada por la "nueva estadística", puede ser considerada como el resultado directo de la imposibilidad en que se encuentra el observador de disociar los elementos individuales. Eddington, con su habitual humor, da un ejemplo "para mostrar cómo la intercambiabilidad puede crear fuerzas. En astronomía, los dos componentes de una estrella doble son tratados como partículas discernibles. Pero ocurre a veces que son totalmente semejantes y que después de un pasaje periastral muy apretado, el observador las intercambia por descuido. ¡El resultado es una «órbita» que corresponde a una fuerza desconocida por Newton! Si en vez de ser excepcional, dicha circunstancia fuera la regla, seríamos incapaces de verificar la ley de Newton en los sistemas de estrellas dobles. La astronomía de las estrellas dobles... debería apoyarse en una ley de fuerza, apropiada a estrellas discernibles y que admitiera cierta probabilidad de intercambios realizados por inadvertencia. Se diría entonces que esta fuerza adicional corresponde a la energía de intercambio".[36] Esta humorada del célebre astrónomo explica la íntima solidaridad entre las interacciones de intercambio y la composición no aditiva implicada por la no permanencia del objeto individual, en oposición a las composiciones aditivas de la mecánica reversible.

Recordemos, en efecto, la distinción introducida (cap. VI, § 3) a propósito de los procesos reversibles e irreversibles. Existen en la realidad física (como también en la mente humana) sistemas (de transformaciones, etc.) tales que la totalidad del sistema es igual a la suma de los elementos: son los sistemas reversibles, como una composición de fuerzas, un conjunto de desplazamientos o un grupo de operaciones algebraicas. Existen también sistemas cuyas totalidades son distintas de la suma de los elementos correspondientes, es decir caracterizados por una composición no aditiva o irreversible (lo que corresponde en psicología a la estructura llamada de "Gestalt", característica de las percepciones, etc., por oposición a las operaciones reversibles de la inteligencia). Ahora bien, como ya dijimos a propósito del azar, la irreversibilidad es precisamente la característica de los sistemas en que intervienen interferencias fortuitas, es decir una mezcla, por oposición a los sistemas reversibles que tienen vínculos nítidos, de donde surge su composición aditiva. Más sencillo aún: los sistemas reversibles, o de composición llamada aditiva, son aquellos cuya composición posible es completa, mientras que los sistemas irreversibles, cuya totalidad no es igual a la suma de los elementos, son aquellos cuya composición permanece fatalmente incompleta, ya sea (al principio) a causa de una mezcla cada vez mayor que excluye las combinaciones poco probables, ya sea (en el límite) por los "intercambios" que destruyen la individualidad de los elementos. Ya en el terreno de la "estadística",

[35] A. Eddington: *Nouveaux sentiers de la science*. Trad. Guénard, Hermann, 1936, pág. 310.

[36] *Ibid.*, págs. 312-313.

aplicada a la realidad, se da la composición incompleta y, por consiguiente, la irreversibilidad, porque aunque las probabilidades de conjunto son composiciones de las probabilidades individuales, el sistema total desprecia sin embargo las probabilidades demasiado débiles: por lo tanto, aunque un sistema de probabilidades matemáticas, basado en combinaciones aleatorias ideales, es un sistema enteramente deductivo, es decir, de composición aditiva o completa, no puede comparárselo con un sistema estadístico real, porque éste no conserva sino las composiciones más probables y llega así a valores totales irreductibles a la suma de valores elementales (de donde surge la irreversibilidad de la mezcla termodinámica y el carácter de composición no aditiva de toda mezcla). Pero en el caso de la "nueva estadística" y de las interacciones de intercambios microfísicos, el carácter no aditivo de la totalidad de un sistema y su irreversibilidad, a la vez que son el resultado del carácter esencialmente estadístico de la composición dada, están acentuados además porque ya no sólo hay mezcla, sino "intercambio", y porque, desde el principio, las probabilidades de conjunto se suponen diferentes de la suma de las probabilidades individuales. Sea, por ejemplo, un sistema total formado por dos partes cuya energía respectiva tiene los valores E_1 y E_2. La energía total no será $E = (E_1 + E_2)$ sino $E = (E_1 + E_2) + \varepsilon$, donde ε representa la energía de interacción o de intercambio entre las dos partes. Este modelo de no composición aditiva se explica por el hecho de que las partículas implicadas no están sólo mezcladas, sino que son intercambiadas durante el proceso, sin retorno posible a la discernibilidad, lo que constituye sin duda el *máximo* de irreversibilidad: en tal caso, se manifiesta claramente que una composición que llega a *agregar* caracteres de conjunto a la suma de las partes, consiste, no en una composición más completa que la meramente aditiva o reversible, sino en una composición *incompleta*, por falta de vínculos nítidos sobre los que la acción experimental o la operación deductiva pudieran actuar por separado.

Pero entonces, esas totalidades, ¿son subjetivas u objetivas? La interacción de intercambio, ¿se basa en una "confusión" subjetiva del observador, como en el caso del astrónomo distraído de Eddington, que confunde sus estrellas dobles, o en una real indisociación? Aquí tocamos el problema epistemológico más importante planteado por la microfísica, tanto en lo que se refiere a la objetividad experimental como a las nociones de "indeterminación" y de probabilidad, que también pueden ser tomadas en sentido subjetivo u objetivo.

Es sabido que el principio de indeterminación, formulado por H. Heisenberg, expresa la incapacidad del microfísico para determinar simultáneamente los valores de determinados pares, valores que pueden ser asociados con facilidad en el plano macroscópico: la figura y el movimiento, la posición y la velocidad de una partícula, o la fase y la amplitud de una onda. Esta incapacidad se debe a las propias condiciones experimentales: si determinamos una posición, nos vemos obligados a localizar la acción de un corpúsculo en movimiento, pero proyectando sobre él fotones que alteran la trayectoria y aumentan la velocidad, etc. Esta indeterminación excluye el determinismo "absoluto", en provecho de un deter-

minismo meramente estadístico. Cabe preguntarse si este último encubre, como pensaba Planck (véase cap. VI, § 6), leyes absolutas de escala inferior, o un indeterminismo subyacente, es decir una indeterminación experimental ineluctable.

Pero esta última puede recibir dos interpretaciones epistemológicas: una, subjetiva, es decir relacionada con nuestras imposibilidad de ejecutar en forma simultánea las acciones necesarias para la determinación, sin que esto implique pronunciamiento acerca de la existencia o no existencia de un infradeterminismo a la manera de Planck; otra, objetiva, que atribuye la indeterminación a las propiedades inherentes a la materia. Ahora bien, la solución de los microfísicos equivale a la vez a descartar el infradeterminismo absoluto (tomando por lo tanto partido en cuanto a la naturaleza de lo real), y a negarse, sin embargo, a dejarse encerrar en la antítesis de lo subjetivo y lo objetivo: en efecto, este último problema adquiere en escala microfísica un nuevo sentido, porque en ella los fenómenos físicos engloban, como componente, la acción del investigador destinada a detectarlos, o, lo que es igual, están englobados en las acciones ejercidas por el experimentador. Así, la indeterminación se referiría en forma simultánea al proceso experimental y a las propiedades de la realidad, porque la acción del sujeto y las transformaciones del objeto constituyen una totalidad indisociable. Más aún, esta indeterminación se impone no sólo desde el punto de vista de las operaciones y del experimentador, sino desde el punto de vista de las operaciones matemáticas necesarias para su representación teórica. "Para salvar el determinismo, dice L. de Broglie, podríamos pensar en invocar la existencia de parámetros ocultos: en tal caso, las incertidumbres que nos impiden establecer un determinismo causal de los fenómenos en escala cuántica, se deberían sólo a nuestra ignorancia sobre el valor exacto de estos parámetros ocultos. Es sumamente curioso que sea posible demostrar la imposibilidad de aceptar semejante escapatoria. En efecto, la propia forma de las incertidumbres cuánticas nos impide atribuir su origen a nuestra ignorancia de los valores de determinados parámetros ocultos. Nos parece que la razón profunda de este hecho reside en que las incertidumbres cuánticas derivadas de la existencia del cuanto de Acción, expresan en último análisis la insuficiencia de la concepción de un espacio-tiempo independiente de los fenómenos dinámicos que se desarrollan en él." [37]

En estrecha solidaridad con la no individualización del objeto, con las interacciones de intercambio y con los sistemas de composición no aditiva cuya naturaleza expresa, el principio de indeterminación marca esencialmente el carácter incompleto de nuestras composiciones operatorias y los límites de nuestras acciones espacio-temporales efectivas. Pero ni este carácter incompleto, ni estas limitaciones, significan falta de eficacia. Por una parte, es posible, por "correspondencia", como dice N. Bohr, con los datos macroscópicos, reencontrar el determinismo objetivo, la individualización de los macroobjetos, etc., pero ajustando una a otra las dos escalas

[37] *Le continu*, pág. 74.

de observación diferentes, a la vez en el plano de las acciones del experimentador y en el de las operaciones del matemático. Por otra parte, este "límite recíproco de tipo completamente nuevo", como denomina de Broglie al principio de indeterminación, marca, con toda la microfísica, una interdependencia muchísimo mayor de lo que se hubiera podido suponer, entre los datos de la realidad y la acción o las operaciones del sujeto: puede incluso decirse que en la misma medida en que las acciones del sujeto están limitadas por la escala del objeto, se observa con mayor claridad la solidaridad entre lo "observable" y las intervenciones del observador; los límites de la acción constituyen algo así como la frontera entre la realidad física y la operación intelectual, dado que esta operación no es sino la traducción, en términos de pensamiento o de relaciones cognoscitivas, de la acción misma como toma de contacto experimental entre el sujeto y la realidad. Pero para poder extraer la enseñanza epistemológica esencial que entraña tal resultado, debemos examinar ahora el papel de los propios "operadores".

4. La función de los operadores y la lógica de la complementariedad. Si el análisis de los conceptos directamente originados en la acción experimental de los microfísicos tiene gran interés epistemológico, otro tanto sucede con el examen de los procedimientos matemáticos de interpretación de la experiencia. Este examen permite comprobar, en este terreno microcósmico, la existencia de una solidaridad, aun más estrecha que en otros casos, entre los operadores matemáticos utilizados en la deducción de los hechos y las acciones que permiten mostrarlos. En efecto, los "observables" detectados por la acción sobre la realidad se traducen en forma de "operadores" que prolongan esta acción, simbolizándola, mientras que las "incertidumbres" originadas por las limitaciones de la acción experimental culminan en la constitución de una nueva lógica, o al menos de una lógica más operatoria aún que la que se aplica a las relaciones macroscópicas: la lógica de la complementariedad.

El principio de "correspondencia" entre los fenómenos macrofísicos y microfísicos, induce en primer término a buscar ecuaciones comunes a la mecánica clásica y a la mecánica ondulatoria o cuántica: estas ecuaciones comunes se reducen a la forma de las ecuaciones canónicas de la mecánica racional. Pero aunque conservamos esta forma, modificamos en cambio por completo la significación de los términos: mientras que en mecánica racional los símbolos representan valores coordinados de un modo espaciotemporal, los símbolos microfísicos por el contrario representan esencialmente operadores, que sustituyen a las posiciones, velocidades, energías, etc. Dirac [38] distingue los "estados", representados por funciones de ondas (función ψ cuyo sentido es el de una distribución probable), de los observables, representados por los operadores. Ahora bien, estos últimos no sólo vinculan términos dados exteriormente a ellos: consisten en esquemas de

[38] P. A. M. Dirac: *Principle of quantum mechanics*. Oxford, 1930.

operaciones colocadas, en cierta manera, sobre el mismo plano que los términos a los que se refieren, ¡como si la transformación efectuada en forma abstracta por el matemático formara parte integrante de los objetos físicos a los que se aplica la ecuación!

Como dice Bachelard, el sentido del operador está entonces tan alejado del realismo como del simbolismo puro: el operador no traduce una realidad, una realidad simplemente exterior a nosotros, puesto que expresa la posibilidad de acciones propiamente dichas ejercidas sobre lo real; pero tampoco es un mero símbolo en el sentido nominalista del término, puesto que se refiere a una experiencia posible. No viene después de una experiencia ya acabada, a la que describiría posteriormente, ni se coloca por sobre cualquier experiencia, como mera expresión simbólica: es uno de los ingredientes de la experiencia que la ecuación interpreta. Es más, al eliminar las magnitudes fijas que intervienen en las ecuaciones, en escala macrofísica, mantiene con las magnitudes probables de la escala microfísica una relación de mucho interés: "la microfísica no construye sus promedios fragmento por fragmento, no los calcula *después* de la experiencia; los encuentra en el nivel de su información matemática"... puesto que el operador "inscribe la toma del promedio en la operación matemática principal".[39]

Más categóricamente aún, Eddington declara, en un pasaje de gran alcance al que hemos de volver: "lo que la física encuentra finalmente en el átomo, o en cualquier otra entidad estudiada por los métodos físicos, *es la estructura de un conjunto de operaciones*. Podemos describir una estructura sin especificar los materiales empleados: por eso puede ocurrir que las operaciones que constituyen la estructura permanezcan desconocidas... Considerada individualmente, cada operación podría ser cualquier cosa; lo que nos interesa es la manera cómo se encadenan unas con otras. La ecuación Pb Pa = Pc [= el producto de dos operaciones da otra del mismo conjunto] es un ejemplo de un tipo de concatenación muy sencillo". "Yo no quisiera inducirlos a pensar, por error, que la física sólo puede extraer del átomo esta ecuación... Pero lo único que se extrae del estudio efectivo (en extremo difícil) del átomo, es un conocimiento del mismo tipo, a saber, el conocimiento de un grupo de operadores desconocidos".[40]

Aunque es evidente que el gran astrónomo fuerza un tanto la nota idealista, todo el capítulo que ha consagrado a la teoría de los grupos, aplicada a los operadores que se usan en la mecánica microcósmica, origina un problema de gran interés. En efecto, por una parte, las magnitudes implicadas en las ecuaciones se orientan hacia la mera probabilidad, lo que parecería excluir cualquier tipo de coordinación reversible en las operaciones que vinculan estas magnitudes entre sí. Pero, por otra parte, Eddington nos muestra, con total diafanidad, cómo los operadores que intervienen en las mismas ecuaciones, constituyen "grupos" bien definidos, es decir, modelos de composición reversible. Así, los probables saltos del electrón

[39] *L'expérience de l'espace*, págs. 102-103.
[40] *Les nouveaux sentiers de la science*, págs. 341-342.

de una órbita a otra, alrededor del núcleo del átomo, constituyen un grupo: "dos saltos de órbita sucesivos proporcionan un estado que se podría haber alcanzado mediante un salto único".[41] Aunque nada sabemos de estas órbitas ni de la forma del electrón, ni tampoco de la trayectoria que sigue en lo que llamamos un "salto" (o de la falta de trayectoria), podemos "agrupar" estos saltos como operaciones posibles. De la misma manera, los "operadores selectivos" que corresponden a una especie de selección destinada a determinar la probable localización de una partícula, constituyen un grupo, el que determina un *conjunto espectral*, ya que analiza cualquier agregado en sus constituyentes puros, de manera análoga a cómo un prisma descompone la luz.[42] Ahora bien, "uno de los efectos de la introducción de operadores selectivos es que descarta la distinción entre operadores y operandos",[43] contrariamente a los operadores de "salto". En efecto, el físico "atiende no a la naturaleza de lo que da la operación, sino a la naturaleza de la propia operación selectiva".[44] Eddington muestra igualmente cómo un grupo de operadores, que forman una estructura abstracta bien definida, ha permitido a Dirac poner de manifiesto un observable que consiste en una nueva propiedad oculta en el electrón y que se ha vuelto célebre bajo el nombre de "spin".

Queda claro entonces el problema: ¿cómo explicar la relación, en el conocimiento microfísico, entre los datos experimentales probables y en gran parte irreversibles, y los sistemas de operadores agrupados de manera reversible? O, si se prefiere una fórmula de Bachelard, ¿cómo explicar que "la magnitud se deslice hacia la probabilidad al mismo tiempo que el operador toma un aspecto matemático mejor definido"?[45] Ahora bien, la razón reside en que, como el conocimiento microfísico supone una solidaridad entre la acción del observador y la realidad observada, mucho más estrecha que en el plano macrofísico, podemos concebir sin contradicción las acciones del observador como operaciones reversibles capaces de formar "grupos", y la realidad observada como sujeta a dispersiones estadísticas, a mezclas e intercambios, a disgregaciones, etc., en gran parte irreversibles. El físico J. Weigle ha comparado la realidad estudiada por su ciencia con un mecanismo complicado encerrado en una caja bien cerrada, pero cuyas paredes están perforadas por agujeros de donde salen hilos: al tirar de uno de ellos se alarga otro, se acorta un tercero, algunos quedan fijos, etc. El teórico trata entonces de reunir todos estos "observables" en una ecuación que coordine los hechos, y sólo lo logra agregando de vez en cuando más hilos a los ya dados, y sobre todo construyendo paso a paso una representación hipotética del mecanismo oculto. Se concibe entonces que, aunque las transformaciones reconstituidas son en parte irreversibles, las acciones de tirar de los hilos, de volverlos a colocar en sus posiciones anteriores y de

[41] *Ibíd.*, pág. 339.
[42] *Ibíd.*, págs. 342-343.
[43] *Ibíd.*, pág. 346.
[44] *Ibíd.*, pág. 345.
[45] *L'expérience de l'espace*, pág. 99.

unirlos por medio de hilos suplementarios, puedan dar lugar a la construcción de un grupo de operaciones. Si ahora agregamos a esta imagen la restricción de que es parcialmente imposible distinguir los movimientos reales de los hilos de las acciones ejercidas por el experimentador, se entenderá la simbiosis inextricable que se establece entre los operadores reversibles y los estados reales irreversibles descubiertos gracias al poder de aquéllos.

Un ejemplo paradójico de esta especie de indiferenciación entre las operaciones del sujeto y las transformaciones del objeto lo constituye lo que J. L. Destouches ha denominado el "principio de homomorfismo".[46] La descripción de la evolución de un sistema en el curso del tiempo, es decir, la evolución de las previsiones, se expresa mediante un operador de evolución U. Ahora bien, J. L. Destouches ha establecido el principio de que "con la única excepción de cierto homomorfismo, la evolución de un sistema entre dos instantes t y $t + \triangle t$ puede compensarse mediante una rotación en torno de un eje de referencia geométrico del observador considerado". Se produce así una transferencia, del objeto al sujeto, de la propiedad de la evolución en el tiempo, por un proceso de subjetivación, que consiste en un pasaje de la sucesión temporal a una operación espacial (reversible) de rotación.

Pero hay más aún. Combinando los símbolos mediante operaciones multiplicadoras, podemos construir, como decíamos al principio de este capítulo, una nueva álgebra no conmutativa, tal que AB no equivalga a BA. Ahora bien, dos observables A y B que no conmutan, no pueden ser determinados en la acción experimental de un modo simultáneo: si medimos con precisión uno de ellos, el otro queda sin determinar, y a la inversa. Es ésta la expresión más general del principio de indeterminación. Pero esto no significa de ningún modo que una de las dos posibilidades —tanto la matemática como la experimental— excluya definitivamente a la otra: son verdaderas ambas, aunque no simultáneamente. Por ejemplo: un microobjeto no es ni onda ni corpúsculo, es ambas cosas alternadas, según qué acción experimental ejerzamos, o según tratemos el formalismo matemático en uno u otro de los dos sentidos no conmutativos de la asociación AB o BA.

Niels Bohr ha propuesto la adopción de un nuevo concepto lógico para expresar esta relación entre dos propiedades de un mismo ser, que no son

[46] Véase J. L. Destouches: "Le rôle de l'activité subjective dans l'élaboration des notions de la physique moderne". *Synthèse*. Amsterdam, t. VII, 1948-1949, pág. 77. Leemos en el mismo artículo (resumen de la conferencia de St. Graveland en 1948): "Ayer Piaget distinguía dos clases de abstracciones: las provenientes de los objetos y las provenientes de las acciones. El cambio que se opera cuando se pasa de la física clásica a la moderna es el pasaje de las abstracciones obtenidas de los objetos a las abstracciones obtenidas de la acción: ya no se trata de las propiedades intrínsecas de los objetos sino de medidas efectuadas por observadores, es decir, de un cierto tipo de acciones, y de previsiones o sea de la evaluación anticipada del resultado de ciertas acciones" (pág. 76).

ni compatibles en forma simultánea ni incompatibles en forma sucesiva: el concepto de "complementariedad". Este "principio de complementariedad", como se lo llama en la actualidad, tiene un manifiesto interés epistemológico, ya que caracteriza un nuevo punto de vista lógico: no es que introduzca, entre dos juicios simples, contradictorios entre sí, tales como A es *x* y A es no-*x*, un *tertium* a mitad de camino entre lo contradictorio y lo no contradictorio, sino que establece la posibilidad de una relación nueva entre dos sistemas operatorios de conjunto. Por lo tanto, mientras que la "incertidumbre" es un concepto que caracteriza sobre todo lo real o el objeto, la "complementariedad" es un concepto que se refiere más que nada a las operaciones del sujeto, carácter operatorio éste que nos gustaría subrayar.

El principio de contradicción nunca nos indica por sí solo qué es contradictorio y qué no lo es: sólo nos impide afirmar a la vez A y no-A; pero para saber si A es o no contradictorio con respecto a B, hay que saber si B implica a no-A o lo excluye. Esto lo establecemos definiendo A y B de manera unívoca y "agrupando" las clases o relaciones que resultan de estas definiciones: así pues, la contradicción entre A y B sólo tiene sentido en función de "agrupamiento" (en el sentido del vol. I, cap. I, § 3), o de un "grupo" de operaciones. Este sentido expresa la posibilidad o la imposibilidad de una composición reversible que englobe al mismo tiempo los dos términos. Por lo tanto, la contradicción o la no contradicción de dos juicios aislados referidos a A y B siempre está relacionada con un agrupamiento o sistema operatorio de conjunto.

La "complementariedad" no consiste en una relación entre términos aislables, sino entre las totalidades operatorias. El hecho de que un microobjeto pueda ser unas veces onda y partícula otras significa que podemos insertarlo en un sistema de relaciones o en otro, pero nunca en los dos a la vez. Ahora bien, por más nuevo que sea este modo de razonamiento, hay que subrayar que una vez establecido por los físicos, ilumina muchos otros campos en que intervienen las totalidades operatorias, ya a partir de las relaciones lógico-aritméticas elementales.

Sea, por ejemplo, una secuencia de elementos A, A', B', C', etc. Podemos reunidos de acuerdo con sus semejanzas y constituir clases lógicas tales como $A + A' = B$; $B + B' = C$; $C + C' = D$; etc. También podemos reunirlos según sus diferencias y formar series de relaciones asimétricas, una de las cuales será $A \rightarrow A' \rightarrow B' \rightarrow C' \ldots$ etc. En esta serie, llamaremos *a* a la relación $A \rightarrow A'$; *a'* a la relación $A' \rightarrow B'$; *b'* a la relación $B' \rightarrow C'$; etc., de donde $a + a' = b$; $b + b' = c$; $c + c' = d$; etc., referido a los términos A, A', B', etc., aunque por intermedio de sus relaciones. Ahora bien, estos dos agrupamientos, uno de clases ($A + A' = B$; etc.) y otro de relaciones ($a + a' = b$; etc.), aunque isomorfos, no pueden ser efectuados al mismo tiempo, es decir, que no se los puede reunir en un solo agrupamiento que comprenda ambos tipos de operaciones a la vez, porque es imposible reunir los mismos elementos simultáneamente, en cuanto semejantes y en cuanto diferentes: si agrupamos las semejanzas ($A + A' = B$; etc.),

formamos clases (o relaciones simétricas) y procedemos por suma conmutativa, por cuya razón hacemos abstracción de las diferencias; si en cambio agrupamos las diferencias ($a + a' = b$; etc.) establecemos relaciones asimétricas transitivas por suma no conmutativa (conservando por lo tanto el orden), haciendo abstracción de las semejanzas. Ambos sistemas de operaciones (la clasificación y la seriación) son pues incompatibles simultáneamente, ya que no podemos reunirlos en un todo único ni componer sus operaciones entre sí; pero son sucesivamente compatibles y pueden ser aplicados a los mismos elementos A, A', B', etc., considerados unas veces como semejantes (lo que son en parte) y otras como diferentes (lo que también son en parte): estos dos sistemas son por lo tanto "complementarios", en el sentido que dan al término los físicos,[47] al menos en la medida en que se toman en cuenta cualidades propias de los elementos considerados. Si, por el contrario, hacemos abstracción de las cualidades, y tomamos a cada individuo A, A', etc., como una unidad, podemos clasificarlos y ordenarlos simultáneamente, cosa que hacemos al enumerarlos (vol. I, cap. I, § 6), puesto que el número entero resulta de una fusión operatoria entre las operaciones realizadas con clases y las efectuadas con relaciones asimétricas. Pero en tal caso volvemos a encontrarnos con la complementariedad, aunque bajo una nueva forma: no podemos contar los objetos y englobarlos en un sistema de clases o de relaciones asimétricas cualitativas en forma simultánea (o sea por medio de un sistema único de operaciones), porque las operaciones de numeración no toman en cuenta las cualidades, mientras que los sistemas mencionados en segundo término la reintroducen: hay por lo tanto complementariedad entre la lógica cualitativa y las operaciones numéricas.

Así pues, la complementariedad es en realidad una propiedad general que caracteriza las relaciones, no entre elementos u operaciones simples, sino entre totalidades operatorias. No obstante, en la lógica usual, que se refiere a la realidad en escala macroscópica, la permanencia de los objetos individuales facilita el paso de un sistema operatorio a los sistemas que le son complementarios, de tal manera que los mismos objetos pueden ser tratados alternativamente como elementos calificados de una jerarquía de clases lógicas, como unidades numéricas, como partes de una configuración espacial, etc., sin que la mente encuentre ninguna dificultad para vincular en uno solo todos los caracteres simultáneamente virtuales, pero sucesivamente actualizados, de cada objeto individual. En la escala de las limitaciones de la acción experimental y, por consiguiente, del álgebra que la expresa, la pérdida de la individualidad que caracteriza al microobjeto obliga por el contrario a la mente a tomar conciencia de la sucesión de las operaciones que determinan los caracteres alternativos de este objeto e impiden conectar estos caracteres en un solo todo permanente. Por eso es natural que sean los microfísicos quienes hayan descubierto la complemen-

[47] Es lo que una vez tratamos de mostrar, en nuestra obra *Classes, relations et nombres*. Vrin, 1942, pág. 257.

tariedad y enunciado esta relación fundamental en forma concreta y no abstracta: una vez más, los resultados de la limitación del campo de la acción convergen con los que permite descubrir la génesis de las acciones en su toma de contacto con la realidad.

5. La significación epistemológica de la microfísica. Según los puntos de vista, el sistema de los conceptos microfísicos puede aparecer como una gran novedad en la historia de las ideas o por el contrario como resultado lógico y natural del conjunto de los procedimientos de pensamiento anteriores del físico. Como ha dicho W. Heisenberg, mientras que la teoría de la relatividad aún permite determinar las coincidencias espaciotemporales y, por consiguiente, mantener una separación más o menos nítida entre el objeto y el sujeto, en microfísica por el contrario, "los conceptos de «coincidencia a la vez en el espacio y en el tiempo» y de «observación» exigen una revisión radical. En la discusión de algunos experimentos, tomaremos en particular consideración la acción recíproca entre el objeto y el observador. En las teorías clásicas siempre se ha considerado que esta interacción puede ser omitida, o aun eliminada de los cálculos, mediante experimentos de control. En la física atómica, tal hipótesis es inadmisible porque, debido a la discontinuidad característica de los hechos atómicos, esta interacción puede provocar modificaciones relativamente grandes e incontrolables".[48] Además: "Nuestra manera habitual de describir la naturaleza, y en particular nuestra creencia en la existencia de leyes rigurosas entre los fenómenos naturales, se basan en la hipótesis de que es posible observar los fenómenos sin influir en ellos en forma sensible. Asociar una causa determinada a un determinado efecto sólo tiene sentido si podemos observar a la vez la causa y el efecto, sin intervenir ni interferir en su relación. Por lo tanto, dado su propio carácter, sólo podemos definir la forma clásica de la ley de causalidad en un sistema cerrado. En microfísica empero, la «complementariedad» de la descripción en el espacio y en el tiempo, por una parte, y el encadenamiento causal por otra, dan como resultado la indeterminación característica del concepto de «observación». En efecto, siempre decidimos en forma arbitraria qué objetos consideraremos parte del sistema observado, y qué otros, instrumentos de observación."[49] En otras palabras, la relación entre el sujeto y el objeto es en cierto sentido la misma en microfísica que en física clásica, con una diferencia de grado en el orden de magnitud de las intervenciones del sujeto; pero en otro sentido, esta diferencia de grado alcanza un límite en el control y en las posibles correcciones, pasado el cual puede hablarse de una diferencia de naturaleza.

A. Eddington, comparando también la microfísica con la física macroscópica, agrega en el pasaje ya citado (§ 4) sobre la realidad y las operaciones agrupadas: "El modo de encadenamiento mutuo de las operaciones,

[48] W. Heisenberg: *Les principes physiques de la théorie des quanta*. Trad. Champion y Hochard, págs. 2-3.

[49] *Ibid.*, págs. 51-52.

y no su naturaleza, es el responsable de estas manifestaciones del universo exterior que alcanzan nuestros sentidos. Según nuestra actitud actual, éste es el principio fundamental de la filosofía de la ciencia." [50] Principio común, por consiguiente, a todas las escalas consideradas por la física, pero que resalta con particular nitidez en la escala microcósmica, en la que los operadores desempeñan un papel de especial importancia en el proceso del conocimiento.

Puede decirse, por lo tanto, que el conocimiento microfísico constituye la prolongación lógica del conocimiento físico en general, pero las dificultades de la acción en este límite inferior de las escalas muestran con particular claridad las relaciones entre la acción experimental y las operaciones deductivas que sirven para la interpretación de la experiencia, mientras que las mismas relaciones impresionan menos la mente en las escalas superiores. ¿En qué consisten pues dichas relaciones? La respuesta a esta pregunta fundamental debemos buscarla en las enseñanzas de los microfísicos.

Ahora bien, lo esencial de esta respuesta se refiere a un hecho que se ha vuelto muy natural, y que domina hoy día toda la interpretación del pensamiento físico. En la física de los principios, podíamos distinguir, por una parte, los hechos experimentales detectados gracias a las técnicas de laboratorio, y por otra parte, un marco deductivo cada vez más alejado de estos hechos, pero en el que éstos tenían que entrar de buena o mala gana. El pensamiento deductivo completaba (y a veces deformaba) los hechos en virtud de exigencias a priori. Bajo la influencia de la microfísica observamos por el contrario que las operaciones deductivas que sirven para reproducir e interpretar los hechos de la experiencia constituyen la prolongación de las acciones efectivamente realizadas por el observador en el curso de su experimentación. Así pues, ya no es el pensamiento directamente el que enriquece la realidad con su aporte, sino la acción; la acción experimental y la realidad constituyen una simbiosis indisociable, mientras que el pensamiento prolonga la acción, sin someterla por adelantado a exigencias inalcanzables. Así, cuando el marco espacio-temporal deja de permitir una representación adecuada, el microfísico no titubea en dejarlo de lado, en vez de mantenerlo mediante esas "ayudas" tan sutilmente analizadas por Poincaré: la representación cede entonces el peso a una formulación en apariencia mucho más abstracta, de naturaleza algebraica y analítica, pero que en los hechos se adapta mucho mejor a las líneas y sinuosidades de la acción. Por eso Eddington ha podido atribuir el conocimiento físico en general, incluido su aspecto sensible, más al encadenamiento de las operaciones que a su naturaleza, ya que en efecto un sistema de acciones se vuelve operatorio por el solo hecho de su concatenación.

Al hacernos comprender que lo mismo sucede en cualquier escala, la microfísica ha hecho a la epistemología un inmenso favor. Pensemos, por ejemplo, en la medición espacial más elemental: transportar la distancia

50 *Nouveaux sentiers*, pág. 342.

AB sobre otra distancia A'B', separándola del contexto de las masas, del trabajo, de las velocidades, etc., y combinando simplemente una partición y un desplazamiento (vol. I, cap. III, § 8), como si estas particiones y estos desplazamientos fuesen cosas físicamente simples. Tal operación consiste en prolongar una acción efectiva, de suma complejidad, irreversible tanto desde el punto de vista físico como desde el psicológico, pero que se convierte en simple y reversible en cuanto se la considera como una unidad componible con otras. Cuando el microfísico, al no poder determinar a la vez una posición y una velocidad, traslada su manera de actuar o de experimentar a un sistema algebraico no conmutativo, referido a operadores que corresponden a los observables, y a funciones de ondas que corresponden a los estados, construye él también un sistema de operaciones que prolonga lo más directamente posible un sistema de acciones, cuya coordinación se ha vuelto más difícil debido a la escala de los objetos a los que se refiere.

El problema consiste entonces en caracterizar esta relación general entre el sujeto y los objetos. La acción experimental de la que procede desde el punto de vista psicológico la operación deductiva, es en realidad una interacción entre el observador y lo observado: ¿cómo determinar por lo tanto la parte de cada uno, o la naturaleza de semejante interacción, si estas partes son indisociables?

En el caso de la medición simple, el observador actúa sobre lo observado desplazando real o mentalmente su metro, y seccionando efectiva o mentalmente la realidad que debe medir; pero al desplazar o seccionar, se somete a sí mismo a las necesidades que le impone la realidad exterior, de tal manera que sus propios movimientos expresan esta realidad espacial y mecánica, tanto como los objetos desplazados o seccionados traducen su acción. Pero como esta interacción sigue siendo superficial por estar en una escala en la que basta un análisis global y estadístico (en relación con los microobjetos), las modificaciones recíprocas del objeto por el sujeto (asimilación) o del sujeto por el objeto (acomodación) no alteran las cosas en profundidad: como resultado, el sujeto tiene la ilusión de conocer una realidad en sí, independiente de su acción, y de existir como sujeto en sí, independiente de la acción de los objetos.

Pero en las mediciones de grandes velocidades de los relativistas, cuando se trata de desplazar mentalmente unidades de longitud a velocidades solidarias con mediciones temporales realizadas por medio de señalizaciones, la interacción del sujeto y del objeto presenta caracteres ya muy diferentes. La acción del sujeto se ve profundamente modificada por las distancias en el espacio y en el tiempo y por la constancia —independiente de él— de la velocidad relativa de la luz, que le imponen limitaciones extrañas y desacostumbradas en la determinación de las simultaneidades y de las longitudes. A la inversa, su actividad de sujeto será tanto más considerable cuanto más aumenten el número y la complejidad de las relaciones que haya que construir: lejos de limitarse a registros pasivos, sus señalizaciones y las ecuaciones que las expresen lo obligarán a establecer un sistema de reciprocidades múltiples entre los distintos puntos de vista

posibles, de tal manera que será llevado a destruir sin cesar la realidad inmediata, en provecho de una realidad más despojada, aunque enriquecida por otra parte por un conjunto de operaciones bien "concatenadas". El producto de estas operaciones, al obligar al sujeto a situarse a sí mismo en el universo así originado, le dará la ilusión realista de un conjunto de relaciones independientes de él.

En el plano microfísico, por fin, es decir en el otro extremo de las escalas de observación, la interacción entre el sujeto y los objetos se presentará con otra apariencia, desapareciendo estas ilusiones realistas características de las escalas mayores. En efecto, para conocer los objetos, el sujeto siempre se ve obligado a actuar sobre ellos, es decir a modificarlos de una u otra forma. Pero, mientras que en las escalas medianas y sobre todo en las superiores, esta modificación consiste más que nada en enriquecerlas con relaciones nuevas sin alterarlas en profundidad, los objetos son en este caso de un orden de magnitud muy inferior al del sujeto y sus aparatos, las acciones de localización o de medida de las velocidades, etc., introducen cambios muy grandes en la disposición de estos objetos. Resulta entonces que la realidad cognoscible está constituida por un complejo indisociable de relaciones, debidas unas a los objetos y otras a la intervención operativa del sujeto: éste, al encontrarse permanentemente en presencia de este complejo, no podría volver a caer en la ilusión de alcanzar una realidad situada fuera de los límites de su acción. Pero, a la inversa, esta actividad está condicionada por las propiedades de los objetos, puesto que es el valor del cuanto de Acción el que, como el de la velocidad de la luz en el otro extremo de las escalas, obliga al sujeto a las complicaciones experimentales que conocemos.

La cuestión epistemológica se expresa con precisión de la siguiente manera: en todas las escalas el conocimiento físico implica que el sujeto actúe sobre los objetos y a la inversa, o en otras palabras, que haya asimilación de los objetos a las operaciones del sujeto y acomodación de éstas a aquéllos. ¿Puede entonces concebirse un estado de interacción entre los objetos y el sujeto tal que las operaciones que transforman a los objetos se confundan con los efectos determinados por el objeto sobre el sujeto? A tal precio sería posible un conocimiento integral, gracias a una especie de fusión funcional entre sujeto y objeto, o sea gracias a una correspondencia exacta entre las operaciones del primero y la causalidad del segundo.

Ahora bien, el primer punto que debemos tener en cuenta a este respecto es que, por mucho que bajemos hacia el límite de la determinabilidad, siempre nos encontramos en presencia de un compromiso inevitable entre ciertas operaciones reversibles, que se caracterizan por bosquejar la trama de las posibles acciones del sujeto sobre los objetos, y una distribución probable, en parte fortuita, que señala la frontera de estas acciones. La "incertidumbre" de Heissenberg, que impide profundizar el análisis, no es suficiente para excluir la eventualidad, no ya de la existencia de parámetros ocultos (lo hemos mostrado), sino de operaciones que emanen de sujetos con estructuras fisiológicas y mentales distintas de las nuestras y que alcanzarían determinaciones más profundas. Por eso, el dualismo

entre una realidad estadística sólo probable, y operaciones de concatenaciones ciertas, permanece irreductible en relación con nuestra estructura de sujetos humanos de un determinado nivel mental, y hay que reservar el punto de vista del "observador microscópico" de L. de Broglie, o de un sujeto cuyas coordinaciones reversibles no fueran espacio-temporales y se refirieran directamente a los cambios de estado. Pero desde el único punto de vista legítimo para nosotros, encontramos en el término actual del análisis físico, por un lado operadores "concebidos como distribuidores de valores probables" [51] y por otra parte, estos valores probables, expresión de la realidad sobre la cual operan los primeros.

El segundo punto que hay que anotar es el de que, en escala atómica, tanto estos instrumentos intelectuales como estas realidades dejan de dar lugar a "representaciones" propiamente dichas. Aunque los microfísicos han dependido por mucho tiempo de las imágenes atomísticas, han venido a parar— como ya en 1922 dijera L. Brunschvicg— en un "atomismo sin átomo", en el sentido etimológico del término.[52] "En resumen, concluye Louis de Broglie al final de un estudio sobre la relación de las teorías abstractas con las representaciones concretas, parecen tener razón en principio los físicos de la escuela abstracta, que rechazan las representaciones concretas, y ven en las fórmulas que vinculan los fenómenos lo esencial de las teorías, y el desarrollo de las teorías cuantitativas contemporáneas confirma sus puntos de vista." [53] Podríamos objetar, es cierto, que el aparente triunfo de lo discontinuo parece hablar en favor de las intuiciones representativas, pero es exagerado ver en las teorías cuánticas un triunfo total de lo discontinuo sobre lo continuo, porque si la idea de *cuanto* introduce la discontinuidad en lo que se concibe como continuo, las nociones microfísicas de "interacción" y de "campo" restablecen una continuidad relativa: tal vez la cadena de conquistas alternativas de lo continuo y lo discontinuo, descrita por Hoeffding, no esté por lo tanto cerca de su final.

De tal manera, el dualismo relativo de la reversibilidad operatoria y de la irreversibilidad estadística, unido a la creciente irrepresentabilidad de los fenómenos, obliga, desde el punto de vista del conocimiento, a distinguir dos partes posibles en la realidad microfísica. Hay primero una acción recíproca e indisociable entre las operaciones, líneas de acción virtual del sujeto, y los sectores de la realidad sobre la que actúan: los valores probables son, en efecto, tan relativos a las operaciones que los ordenan como estas operaciones lo son a la distribución de las cosas sobre las que actúa el sujeto. En otras palabras, el sujeto se reencuentra en la realidad asimilada, tanto como la realidad se reencuentra en la acción y el pensamiento asimiladores. Pero, por otra parte, está lo inasimilado, y tal vez —porque es preciso no prejuzgar nada ni en un sentido ni en otro— lo inasimilable por sujetos de nuestra escala y de nuestra estructura mental: lo inasimilado

[51] G. Bachelard, *loc. cit.*, pág. 28.
[52] L. Brunschvicg: *L'expérience et la causalité physique*, pág. 385.
[53] L. de Broglie: *Le continu et le discontinu dans la physique moderne*, págs. 107-108.

no es sólo lo no representado, porque la representación intuitiva es sólo el simbolismo en imagen de la operación pura, sino también lo no formulado, en particular todo lo que se refiere a la acción detallada de los elementos semiindividualizados de los que la estadística cuántica nos ofrece un cuadro de conjunto.

Ahora bien, el verdadero problema del idealismo y del realismo se refiere a lo inasimilado: para dar respuesta a la cuestión definitiva que plantea el conocimiento, habría que saber si este asimilado —y no la realidad asimilable— es en definitiva de naturaleza exterior a los actos del sujeto —de cualquier sujeto— o si su estructura es isomorfa de la del pensamiento vivo y habrá de provocar una asimilación indefinida.

Pero la ciencia aún no ha dicho su última palabra sobre este tema. En efecto, este juicio definitivo no pertenece sólo al físico, ni desde luego tampoco al epistemólogo. En realidad, es de competencia del "observador microscópico" o del "bebé atómico", que podría dar la razón ya sea al idealista, poniéndonos en guardia contra las ilusiones realistas ligadas a nuestras representaciones humanas, ya sea al realista, informándonos de que también hay que luchar contra una realidad hostil y resistente; o podría asimismo coincidir con ambos a la vez (lo que significaría no darle la razón a ninguno de los dos) mostrándonos que estas acciones sostienen con la realidad la misma relación que nuestras operaciones con la nuestra. Ahora bien, este "observador microscópico", quimérico, si lo imaginamos con los rasgos de un diminuto ser humano, podría tomar su lugar un día entre las cosas observadas o entre los propios "observables", bajo la forma de un microorganismo lindante con los "microobjetos". Como lo dijera con profundidad Ch. E. Guye, una física más "general" que la nuestra (y ya no particular) englobaría en su dominio los mecanismos elementales de la vida, y el problema de las "fronteras de la física y de la biología" está desde ya planteado por los microfísicos.

Si nos colocamos en el punto de vista realista, conforme al cual las acciones de nuestro organismo y las operaciones de nuestro espíritu son el reflejo de la realidad, no será por cierto bajo la forma demasiado simple de una presión de la experiencia inmediata y exterior, ejercida por intermedio de los órganos de los sentidos individuales, que la realidad intervendría del modo más eficaz sobre el sujeto: lo haría por el canal de los mecanismos formadores de la propia organización viviente, de la que depende la organización mental. Y como el espíritu humano es tributario, desde este punto de vista, de la historia multimilenaria que liga al hombre de una manera continua a los organismos más primitivos, el problema de las relaciones entre sujeto y objeto se encuentra, en definitiva, descentrado con respecto al hombre y situado en el seno mismo de las relaciones entre la organización viviente y la materia inorgánica que le sirve de ambiente o quizá de origen primero.

No corresponde a la epistemología especular sobre lo que podría suministrar alguna vez el estudio de las regiones limítrofes situadas entre la microfísica y la biología a la teoría de las relaciones entre el organismo y el ambiente. Conviene, pues, cerrar este capítulo. Pero si la prudencia se

impone de este modo, debe aplicarse tanto en un sentido como en el otro. Lo real aún no asimilado y eventualmente no asimilable en la escala de los límites de nuestra acción experimental, puede constituir el modelo de esos obstáculos exteriores que resisten a todas las tentativas del espíritu. Pero igualmente podría suministrar alguna vez la clave de las relaciones entre lo viviente y lo inerte y, por consiguiente, tarde o temprano, relaciones entre el comportamiento activo del organismo y el medio físico sobre el cual se ejerce su acción. Ese día la hipótesis realista y la hipótesis idealista serán capaces de llegar a relaciones muy distintas de las de una mera antítesis. Es lo que veremos acerca de los seres vivientes reales y conocidos, al pasar del estudio del pensamiento físico al del pensamiento biológico (volumen III: caps. IX y X).

8

LOS PROBLEMAS DEL PENSAMIENTO FISICO: REALIDAD Y CAUSALIDAD

Después de haber estudiado algunos problemas relacionados con la mecánica, los principios de conservación, el azar y la microfísica, podemos preguntarnos ahora qué es la explicación en física y cuál es la realidad que tiende a aprehender el pensamiento del físico.

El pensamiento matemático termina por asimilar lo real a las operaciones del sujeto. En su punto de partida numérico o espacial, prolonga aun directamente las acciones cuyas operaciones constituyen la composición reversible, pero, en lugar de extraer, mediante esa actividad, los caracteres experimentales de la realidad, que las estructuras analíticas o geométricas traducirían así en abstracciones, la matemática consiste esencialmente en coordinar las acciones o las operaciones entre sí: lo que expresa, entonces, no es tanto lo real como las acciones operatorias ejercidas por el sujeto sobre lo real, y retiene de ellas sólo su aspecto de composición general y no su contenido cualitativo. Por esta razón, aunque el pensamiento matemático no proviene de la experiencia física, no se adapta menos a ella, y hasta se preadapta constantemente a la realidad, porque la coordinación exacta de las acciones corresponde necesariamente a las transformaciones de lo real: esa coordinación se sumerge, de hecho, en la realidad por intermedio de un organismo psicobiológico surgido de ella, es decir, por una vía interior y no por el canal de la experiencia externa como tal.

Con el pensamiento físico se inaugura la conquista de la propia realidad en oposición a las coordinaciones operatorias que la asimilan simplemente a la actividad del sujeto. También esa realidad sólo se conoce por intermedio de las acciones ejercidas sobre ella. Pero, además de la coordinación de éstas que posibilita la matematización del objeto, interviene ahora su contenido o su diferenciación, es decir los aspectos cualitativos particulares de diversos tipos de acciones; de modo que a una misma coordinación espacial de la acción, fuente de verdad geométrica, pueden corresponder diferentes velocidades del sujeto, esfuerzos, acciones de sopesar, etc.; esas experiencias de la velocidad, de la aceleración o del peso van a engendrar conceptos que sobrepasan lo matemático puro, y a constituir así el punto de partida de las relaciones físicas (queda entendido, repitámoslo una vez más, que las dos clases de conocimiento se establecen simultáneamente).

La relación entre el sujeto y los objetos en este conocimiento físico inicial es a la vez muy próxima a la relación correspondiente propia del pensamiento matemático y sin embargo ya diferente de ella. Cuando el sujeto desplaza un objeto de A a B le imprime sin duda un movimiento objetivo, siempre que aquél se mueva para producir ese movimiento. Mas, por un lado, el movimiento del sujeto sería en cada punto similar (en cuanto al espacio únicamente), si no hubiera objeto real que le sirviera de punto de apoyo; y, por el otro lado, ese movimiento sólo se concibe mediante un sistema complejo de relaciones de orden y de distancia (coordenadas), de congruencias, etc., en fin, según toda una estructuración del espacio que atestigua cómo las acciones del sujeto enriquecen con relaciones nuevas la realidad sobre la que operan. Cuando se trata, por el contrario, de imprimir una velocidad al objeto o de evaluar su velocidad, de pesarlo, etc. (o inclusive, lo que pertenece igualmente al conocimiento físico, de determinar sus propiedades espaciales intrínsecas), la acción se diferencia entonces, no sólo en sus modos indefinidos de coordinaciones o composiciones, sino también en sus cualidades específicas. Aun sin métrica, la velocidad ya supone, por ejemplo, la comprobación del adelantarse entre dos móviles que recorren trayectorias paralelas en el mismo sentido, con iguales puntos de partida y el mismo instante inicial. Se trata todavía de coordinaciones y, por ende, de composiciones susceptibles de tratamiento lógico y matemático, pero se agrega a la coordinación como tal un elemento de experiencia o de intuición que ya no atañe solamente a las acciones, en cuanto están coordinadas entre sí, sino también a su resultado exterior: la velocidad y el tiempo implican, en efecto, una puesta en relación entre los propios objetos; este relacionamiento objetivo se reconoce, por oposición a las coordinaciones simplemente formales, en la acción del sujeto, por la intervención de efectos musculares y de una resistencia de los objetos, que no están implícitos en un desplazamiento puro efectuado o concebido sin tener en cuenta la necesidad de vencer obstáculos.

Dicho esto, el problema esencial planteado por el pensamiento físico reside en comprender el mecanismo de esa toma de contacto entre la mente (por lo tanto, en su punto de partida, entre la acción) y la experiencia de la realidad exterior. Se acepta comúnmente que esa toma de contacto se realiza primero por medio de las percepciones y del canal de los órganos sensoriales. Pero nada es más inexacto, como lo hemos visto constantemente, que esta afirmación, si no se completa con una referencia a la acción. Las percepciones que suministran, por ejemplo, una impresión de peso, una velocidad, etc., son esencialmente relativas a las acciones de levantar, de moverse más o menos fácilmente o de seguir un movimiento con la vista, etc.; traducen entonces, simultáneamente, un dato exterior y un estado activo del sujeto asimilándose el primero al segundo. Tanto el pensamiento físico como el matemático reposan, por ende, sobre las acciones del sujeto, pero sobre acciones particulares inseparables de su resultado exterior, y no sobre las coordinaciones generales, fáciles de abstraer de esas acciones particulares. De modo que el problema reside en comprender cómo el desarrollo del pensamiento físico llega a disociar, hasta un cierto grado, esos elementos

subjetivos y objetivos inherentes a las acciones especializadas (a partir de la acción sensoriomotriz), para construir, en la medida de lo posible, una realidad independiente del yo. Hemos estudiado esa construcción en un cierto número de casos: el tiempo y la velocidad, la fuerza, los conceptos de conservación, el azar, etc. Pero queda por buscar las líneas generales de ese proceso común a todos los conceptos físicos.

A tal efecto, el primer problema que se presenta es el de la evolución en sí de la explicación o de la causalidad, siempre que se puedan descubrir las leyes de desarrollo que rigen este conjunto de conceptos. Después de lo cual surgirá la cuestión de saber en qué consiste esa explicación física: ¿se reduce acaso, como lo quiere el positivismo, a una simple descripción de hechos generales, dicho de otra manera, a establecer leyes que esquematicen las comprobaciones y posibiliten la previsión? o, por el contrario, ¿recurre el pensamiento físico, como el matemático, a las operaciones mismas, con el fin, empero, de producir y explicar el modo en que se originan los fenómenos reales? Si éste es el caso, ¿en qué consiste entonces la causalidad? ¿Habrá que ver en ella, con Kant y sucesores, una aplicación de la deducción a la experiencia? ¿Pero cuál es el carácter y la función de esa deducción o esa aplicación? Por último, y ésta es la cuestión principal, si la deducción física es una especie de producción o de reproducción ¿qué tipo de realidad constituye entonces, para el físico, lo real externo? ¿Se distribuye esa realidad sobre un plano único, el mismo en el punto de partida perceptual como en el de llegada, representado por la teoría física más elaborada, o se distribuye según planos variables cuya ley de sucesión sería posible determinar?

1. La génesis y la evolución de la causalidad en el desarrollo individual. Sin prejuzgar qué es la causalidad, se puede no obstante estudiar al respecto la historia de las interpretaciones elaboradas por la inteligencia acerca de la realidad. Es posible que esas interpretaciones, que aparecen o se manifiestan seguramente en un cierto nivel por la construcción de causas propiamente dichas, terminen por eliminar todo concepto causal en favor de conceptos simplemente legales: en tal caso habría, sin embargo, evolución de la causalidad, pero con una tendencia a eliminar dicho concepto. El examen previo de la evolución de la causalidad no presupone pues solución alguna a priori, sino que contribuye, por el contrario, a establecer una solución a posteriori y objetiva.

Desde este punto de vista, es indispensable partir de la psicogénesis de la idea de causa pues este concepto, cualesquiera que sean las formas en que interviene en física, es el modelo de los conceptos de sentido común: por esa razón los teóricos de la causalidad siempre han comenzado por ubicarse en el campo del pensar espontáneo antes de pronunciarse sobre el valor de ese concepto en el conocimiento físico mismo. Tanto es así que siempre se ha intentado justificar el origen empírico de la relación causal por el análisis de las formas más elementales de la causalidad.

I. En efecto, en las reacciones más primitivas del niño se descubren ciertos aspectos del relacionamiento causal que parecen abogar en favor de una primacía de la experiencia externa, mientras que otros parecen ligar la causalidad a la experiencia interior. La comparación de esas dos clases de manifestaciones y sobre todo su evolución posterior parecen mostrar, al contrario, que al principio la causalidad es esencialmente asimilación de las secuencias a las acciones del sujeto, después de lo cual se desarrolla en función de la composición de éstos; dicha composición ya es fuente de operaciones lógico-matemáticas, pero la composición causal o explicativa engloba además un elemento de sucesión temporal tomado de la experiencia externa o interna; por esta razón, la composición es causal en vez de permanecer simplemente deductiva o implicativa, mas el elemento de sucesión no bastaría para crear el nexo causal sin una asimilación a las acciones propias, y luego a la composición operatoria.

Es verdad que ciertas formas iniciales de la causalidad ilustran de manera patente el fenomenismo de Hume y parecen favorecer así la génesis empírica de la causalidad en función de la experiencia en general, sobre todo exterior, y de los hábitos contraídos a través de su contacto. Al tirar, por casualidad, de un cordón suspendido del techo de su cuna, un bebé de cuatro a cinco meses ve el techo venirse abajo arrastrando consigo todos los objetos colgados de él: de inmediato establece una relación causal entre todos los elementos del espectáculo a pesar de no comprender en modo alguno el detalle de las conexiones.[1] Para demostrar la puesta en relación basta con colgar otro muñequito en el techo para ver cómo el niño procura tirar del cordón que lo pondrá en movimiento. La prueba de que hay incomprensión en cuanto a las conexiones reales (contactos espaciales, etc.) consiste en que, al presentar objetos suspendidos a dos metros del sujeto, sin conexión alguna ni con la cuna ni con su techo, el niño agitará igualmente el mismo cordón para poner el objeto en movimiento, como si el procedimiento pudiera funcionar indistintamente y a cualquier distancia, con todos los juguetes suspendidos. Este ejemplo puede tomarse como prototipo de un conjunto de conductas que se mantienen hasta bastante tarde: por ejemplo, se observan chicos que alrededor de los cuatro años todavía atribuyen a un trazo de tinta, marcado delante de ellos en un frasco de vidrio unos instantes antes, el hecho de que el nivel del agua no vuelva a descender después de haberse disuelto el azúcar sumergido; o atribuir la marcha de una bicicleta a su farol; etc. Al comprobar la frecuencia de tales hechos, sería tentador pensar con Hume que la causalidad en sus comienzos se reduce simplemente a las asociaciones habituales: entre dos fenómenos cualesquiera próximos en una experiencia, el que antecede sería considerado como causa del que sigue, en la medida en que se consolida la asociación por la fuerza del hábito y sin razón intrínseca alguna.

[1] Véase para este experimento *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé, cap. III, § 2. Véase nota 4 del cap. IV.

Sin embargo, existen dos circunstancias que impiden aceptar el esquema de Hume como satisfactorio. En primer lugar, no son acercamientos cualesquiera entre un suceso A y otro B los que desencadenan la construcción de una relación causal: durante todo un primer período del desarrollo mental es necesario que A constituya una acción del sujeto mismo para que sea considerada como causa de B. En el ejemplo recién citado del cordón suspendido del techo de la cuna, la causa A del suceso B (el movimiento del techo) no es simplemente el movimiento del cordón: es el acto global de tirar del cordón, es decir, la causa consiste en una acción del propio sujeto, acción que engloba ciertos objetos que sirven de intermediarios. Sólo más tarde y secundariamente un poder causal es delegado en los objetos como tales, aunque el primero de esos objetos esté constituido generalmente por el cuerpo de otra persona.[2] No basta, pues, que durante casi todo el primer año del desarrollo los hechos se sucedan ante los ojos del niño, aunque sea en forma regular, para constituir secuencias causales: por sí mismos permanecen como simples imágenes sucesivas y para que adquieran un carácter causal hace falta la intervención de la acción propia. Sólo más tarde se podrá concebir que "cualquier cosa" produzca "cualquier cosa", pero en determinadas situaciones excepcionales, a causa de la incomprensión completa de los mecanismos en juego: por ejemplo, la marca de tinta o el farol de la bicicleta citados antes. La primera forma de causalidad está ligada, entonces, a la acción propia y, sólo por una especie de delegación de poderes de ésta, ciertos objetos son investidos después, pero solamente después, de virtud causal.

En segundo lugar, cuando esos objetos exteriores al propio cuerpo son considerados como causas independientes de la acción individual no son simplemente percibidos o concebidos tal cual aparecerán cuando se desarrolle un pensar físico capaz de objetividad: son revestidos de cualidades que emanan del sujeto mismo o de sus actividades. Así el farol concebido como causa de movimiento de una bicicleta, o la marca de tinta que supone la retención del agua en el nivel indicado serán concebidos como animados de intenciones, de fuerzas, etc., o como investidos de poderes que emanan de la voluntad adulta; serán asimilados en definitiva a los esquemas de la acción propia. Y bien, un hecho como éste sería inexplicable si la causalidad resultara exclusivamente de asociaciones o hábitos impuestos únicamente por la experiencia, mientras que esa asimilación se explica fácilmente si la causalidad procede de la acción.

II. Pero entonces ¿no debería invocarse simplemente la experiencia interior y considerar la causalidad, con Maine de Biran, como el producto de una lectura directa de la acción voluntaria, o de una "inducción" analógica que hace imaginar las cosas según el modelo del yo? Y, en realidad, la evolución de los conceptos de causalidad en el niño parece a primera vista justificar la doctrina biraniana, aunque sobrepase el fenomenismo puro de Hume: la función necesaria de la acción propia en la

2 Véase *La construction du réel chez l'enfant*, cap. III, §§ 2 y 3.

génesis del nexo causal y los conceptos animistas de fuerza, finalidad, etc. parecen resultar de la experiencia directa de la causalidad voluntaria, en el sentido que el célebre filósofo diera a estos conceptos en sus ensayos de análisis reflexivo. Empero, importa repetir nuevamente que la intervención de una acción en el desarrollo de una idea no implica, de manera alguna, que ésta provenga de la "experiencia interior", pues una cosa es actuar sobre lo real asimilando las cosas a los esquemas de esa acción, y otra, hacer la introspección correcta de la acción misma, hasta poder captar de inmediato el mecanismo de su causalidad efectiva. En el primer caso puede darse una asimilación de objetos al esquema de una acción, sin que éste produzca una toma de conciencia adecuada: desde el punto de vista de la conciencia ese esquema desempeñará entonces el papel de una estructura a priori, por así decirlo, aun cuando las acciones anteriores que le han dado origen hayan consistido en interacciones entre el sujeto y los objetos. Sin embargo, para Maine de Biran, la idea de causa se originaría en una introspección adecuada del papel que desempeña la voluntad en la acción, mientras que el examen de los datos psicogenéticos parece llegar a la conclusión inversa: si la acción es la fuente misma de la causalidad, lo es solamente en cuanto impone sus esquemas a los objetos; de esta relación entre el objeto y el esquematismo parcialmente inconsciente de la acción nace la toma de conciencia del sujeto, y ésta no constituye una lectura directa del mecanismo íntimo de los actos.

En efecto, lejos de descubrir en sus primeras acciones intencionales la función de su voluntad y la existencia de su yo, el bebé tarda (sólo al final del primer año) en alcanzar la disociación entre su yo y el mundo exterior, y su toma de conciencia procede desde la periferia hacia el centro y no a la inversa. También las primeras experiencias sensoriomotrices de la causalidad carecen de experiencias internas puras: al principio el esquema causal siempre engloba una relación externa de carácter fenoménico, así como una acción propia. En el ejemplo citado anteriormente del cordón que acciona los movimientos del techo de la cuna, vemos esa relación fenoménica que conecta los desplazamientos del cordón con los del techo, y esta relación, percibida en función del propio acto de tirar del cordón, interviene tanto como éste en la construcción del nexo causal inicial. La toma de conciencia no parte, por ende, del centro, es decir de la corriente de inervación que liga el cerebro con la mano, sino del resultado global de la acción. Sólo posteriormente la conciencia llegará simultáneamente a remontarse de esos resultados a las intenciones, y a descender de un antecedente externo a su consecuente igualmente exterior.

En resumen, el punto de partida psicológico de la causalidad no debe ser buscado en las relaciones puramente fenoménicas suministradas por la experiencia externa, ni en los datos introspectivos de esa experiencia, sino en una asimilación de los datos experimentales a los esquemas de la acción propia. En otros término, Hume y Maine de Biran vieron sólo un aspecto de la realidad cada uno, pero se corrigen mutuamente: con esto se afirma

que la causalidad no podría resultar de ninguna "experiencia" propiamente dicha, sino realmente desde los comienzos, de una organización de la experiencia en función del esquematismo de la acción.

Empero ¿en qué consiste ese esquematismo asimilador? ¿Es afín al que engendra las operaciones lógico-matemáticas y espaciales en particular, con la diferencia de que aporta la intervención de datos tomados de lo real, o es de otra naturaleza? Y, afín o no, ¿aparece acaso únicamente en el plano de la inteligencia, o bien origina, como las intuiciones espaciales y las prelógicas y prenuméricas, una "percepción de la causalidad" que precede, del mismo modo que la inteligencia práctica (o sensoriomotriz), a la representación misma de la causalidad?

III. En unos experimentos muy interesantes,[3] A. Michotte logró demostrar recientemente la existencia de una percepción de la causalidad, comparable por sus leyes de estructuración de conjunto con la percepción de formas espaciales, y quería interpretarla según el modelo de explicaciones llamado "guestáltico". Presentó a sus sujetos diversas figuras; una de ellas, A, de forma rectangular, provista de un movimiento de traslación, se dirige hacia un objeto de forma análoga B: éste, a causa del impacto, empieza también a moverse. Y bien, resulta que en algunos casos los sujetos "perciben" el movimiento de A como si provocara causalmente (por choque, arrastre, etc.) el desplazamiento de B, mientras que en otros los dos movimientos son percibidos como independientes y simplemente sucesivos. Según Michotte, no se trata de manera alguna de un juicio sobre percepciones, sino, en el sentido más estricto, de una percepción del nexo causal visto como propulsión. Y el gran interés de estos hechos reside en que atestiguan una diferenciación precisa al respecto: basta modificar tan sólo un poco las magnitudes en juego (distancias, dimensiones, duraciones y velocidades) para transformar la percepción y dar lugar a impresiones muy distintas, cada una relativamente constante.

Para empezar, precisemos que los hechos en sí parecen indiscutibles. Los reprodujimos en nuestro laboratorio (con Lambercier) y comprobamos las mismas reacciones perceptivas que Michotte; actualmente, las estudiamos en el niño. Desde luego, la cuestión previa sería determinar hasta qué punto tales reacciones son constantes en todas las edades (incluidos los primeros meses de vida) y en qué medida ellas dependen de factores hereditarios (maduración, etc.), lo que según el caso remitiría los problemas de génesis a la biología. Mas, sin solución en esos puntos fundamentales, es posible desde ya extraer las principales enseñanzas epistemológicas a partir de los datos conocidos actualmente.

En primer lugar, los hechos descubiertos por Michotte presentan el interés de constituir, en cuanto "prefiguración" de la causalidad conceptual en la causalidad perceptual, un nuevo caso de ese fenómeno tan general que es la repetición de las mismas construcciones genéticas de un nivel a

[3] A. Michotte: *La perception de la causalité*. Lovaina, 1946.

otro en la jerarquía de las conductas, con desfasaje en el tiempo y ampliación de la construcción en cada fase nueva. La organización, primero perceptual, después conceptual, de la causalidad es comparable a este respecto con lo que hemos visto ya de la estructuración del espacio o del tiempo por etapas sucesivas (cap. IV, § 2), etcétera.

En efecto, hay que distinguir dos estadios o tipos sucesivos en la causalidad perceptual: la percepción táctil-kinestésica, ligada a los movimientos propios de los miembros y de la cabeza (y en actividad desde la vida fetal), y la percepción visual ulterior que puede ejercerse, tanto sobre los contactos entre móviles independientes del propio cuerpo como sobre las acciones de este último. Y bien, estas dos etapas de la causalidad perceptual corresponden en forma asombrosa a lo que serán, en el nivel de la causalidad conceptual, la causalidad por asimilación a la acción propia y la causalidad por composición propiamente dicha, es decir, por asimilación a una coordinación de acciones o de operaciones.

Efectivamente, en el caso de la percepción visual de la causalidad (arrastre de un objeto por otro, propulsión, "disparo", etc.), el fenómeno general de la "ampliación" perceptual del movimiento [4] se presenta, según insiste el mismo Michotte, con todas las características de una composición mecánica (es decir, no sólo cinemática sino muy dinámica, en virtud de las aceleraciones positivas y negativas). En el caso del efecto de "arrastre", ya tenemos hasta la percepción de un movimiento inercial: se ve el objeto B inmóvil con respecto al objeto A que lo arrastra, aunque cambia de posición con respecto al sistema de referencia exterior (ocurre entonces lo que Michotte llama "desdoblamiento fenoménico", independientemente de la cuestión de saber en qué nivel mental aparece tal desdoblamiento). La impresión de "productividad" (como dice Michotte), propia de la causalidad, se debe por ende a la composición en sí de los movimientos percibidos (o de los cambios de posición y de forma), y no a uno de ellos por oposición a los otros. En otras palabras, la causalidad en cuanto producción de un efecto nuevo no se relaciona con una cualidad particular percibida en los objetos A o B (dimensiones, masa, etc.), sino con la descomposición y recomposición de los movimientos, es decir con lo que Michotte llama la "ampliación": la causa perceptual del cambio de B no es entonces el objeto A, ni siquiera el movimiento (o el cambio de forma) de A sino, por cierto, la composición total de las relaciones espaciales (dimensiones e intervalos), temporales (sucesiones y duraciones) y cinemáticas (velocidades y aceleraciones) que determinan la impresión de *comunicación del movimiento*. De aquí se infiere que la impresión perceptual de la causalidad se debe a una resultante global, determinada con precisión por las relaciones en juego, y que permanece global en cuanto no emana de una relación particular entre las otras, sino de la composición de conjunto justamente de todas las relaciones dadas.

[4] Michotte, *loc. cit.*, págs. 213-219. La ampliación es la descomposición del movimiento del agente en dos movimientos o desplazamientos percibidos como ligados uno al otro: el del paciente y el del propio agente.

Comparemos, por ejemplo, la percepción de un cuadrado (fijo) con la de un efecto de propulsión. En el primer caso, se percibe la figura como una *reunión* [5] de todos los elementos y de sus relaciones (igualdad de lados y de ángulos, cierre, etc.): cada elemento es visto entonces como una *parte* (o una relación constitutiva parcial) del cuadrado. En el caso de la propulsión, por el contrario, se ven longitudes, sucesiones temporales, velocidades, modificaciones de velocidad (aceleración), etc., pero la causalidad no se percibe en absoluto como una simple reunión simultánea o sucesiva de esos elementos o relaciones, sin lo cual sólo se percibiría un sistema exclusivamente cinemático. Por el contrario, la causalidad es percibida como *resultante* de la composición: se ve un móvil ganar en movimiento lo que pierde el motor; o se ve el móvil ponerse en movimiento (arrastre) a la misma velocidad que el objeto motor después que este último lo hubo alcanzado (de ahí la impresión de inercia). En todos los casos en que se percibe una causalidad, se efectúa una especie de juego de compensaciones entre los movimientos (o cambios de forma) del motor y los movimientos (o cambios de posición o de forma) del móvil, es decir, se produce el equivalente perceptual de una especie de cálculo de velocidades. Si esto falta habrá simplemente percepción de sucesiones cinemáticas. En otros términos, estará lejos de ser percibida como una reunión de elementos o relaciones (o a fortiori como *un juego de transformaciones*) cuya resultante global constituye fenoménicamente.[6] Precisamente como composición total, la causalidad agrega a las relaciones geométricas y cinemáticas percibidas una impresión de *productividad*; ésta sería inexplicable si no resultara de la composición en sí, y, efectivamente, ninguna de las relaciones en juego (intervalo, sucesión, movimiento, etc.) es percibida como una "parte" de esa productividad (a la manera del lado de un cuadrado, o de la igualdad de sus ángulos, etc.): no constituye sino una de las condiciones de la transformación percibida.

En resumen, esa "productividad" causal, aunque es leída perceptualmente en la sucesión de los cambios de forma y de posición, supone las composiciones de un sujeto psicológica y fisiológicamente activo, es decir, implica una actividad perceptual de un nivel superior a la percepción de un punto o de una línea. Así como la causalidad racional resulta de una composición operatoria producida por la actividad del sujeto y atribuida a los objetos, también la causalidad perceptual emana ya de una actividad

[5] Reunión no en el sentido de un sistema de asociaciones entre elementos preexistentes, desde luego, sino en el de una configuración de conjunto.

[6] La mejor prueba de esto consiste en que, hablando objetivamente, es decir, poniéndose en el punto de vista de los datos físicos presentados, hay simple sucesión cinemática y no causalidad en los cuadros presentados a la percepción del sujeto: éste introduce entonces la causalidad por intermedio de un sistema de transformaciones perceptuales que se comparan con la causalidad efectiva como los movimientos estroboscópicos con el movimiento real. Si la causalidad real es percibida como la causalidad en el efecto Michotte (del mismo modo en que se percibe el movimiento real como el movimiento estroboscópico), esto implica que hay siempre composición perceptual, y por ende actividad del sujeto en la percepción de un nexo causal cualquiera.

del sujeto (puesto que surge en ocasión de ciertas relaciones cinemáticas, pero sin corresponder necesariamente a una causalidad físicamente real) siendo percibida a la vez en el objeto.

Se sobreentiende por lo tanto que el concepto de causalidad no podría ser extraído por abstracción de los propios objetos o sucesos percibidos. Por de pronto, podría ocurrir que las composiciones operatorias que constituirán la causalidad racional no obtengan sus elementos directamente de la causalidad perceptual (así como las formas lógico-matemáticas y físicas de conservación tampoco se apoyan directamente sobre las "constancias" perceptuales del tamaño, etc.). Pero aunque la causalidad operatoria extraiga sus componentes indirectamente de la causalidad perceptual, siempre se tratará de una abstracción basada, no en el espectáculo de los objetos mismos en que la composición perceptual introduce la impresión específica de productividad, sino en esta misma composición perceptual, es decir en la actividad perceptiva del sujeto que une en un todo perceptible el conjunto de las relaciones dadas (según una estructuración casi inmediata e independiente de la presencia real de una causalidad física en los objetos presentados).

En el caso de la causalidad táctil-kinestésica, las cosas ya suceden de otra manera: el concepto de causalidad por asimilación del efecto a la acción propia no es extraída de la percepción táctil-kinestésica como percepción de los movimientos corporales solamente o de las resistencias externas, sino como composición de todas las relaciones en juego que dependen, en este caso, de la acción enfocada en su organización misma.[7]

En ambos casos no se da, por ende, un empirismo causal en el sentido de Hume o de Maine de Biran, sino un apriorismo[8] o una relación inseparable entre sujeto y objeto: la razón de esto, en una palabra, reside en que la percepción de la causalidad resulta, como la causalidad operatoria, de la composición en sí de las relaciones en juego, y no de una cualquiera de las relaciones compuestas.

IV. Una acción aislada, fuente de una relación causal definida (por ejemplo, el empujar un objeto), es comparable a una acción aislada, fuente de una futura relación operatoria de tipo lógico-matemático (por ejemplo, reunir dos objetos en una totalidad), pero la diferencia entre ellas reside en que, desde el principio, la primera de esas dos clases de acción engloba elementos tomados del objeto (su resistencia o masa, etc.), mientras que la segunda no toma nada de los objetos y se limita a imponerles una estructura o disposición que emana de la misma acción (sin tomar en

[7] Asimismo Michotte subraya (págs. 263-269) el acuerdo posible entre sus resultados y los nuestros, interpretando lo que habíamos denominado la "eficacia" de la causalidad sensoriomotriz primitiva en un sentido que él supone más próximo a Maine de Biran de lo que hubiéramos querido (pág. 265): la eficacia ya es asimilación, es decir, composición en un sentido que prefigura la "productividad" propia de la causalidad perceptiva bajo su aspecto táctil-kinestésico.

[8] En el caso de herencia de estructuras causales, y de herencia de origen endógeno.

cuenta la resistencia, etc., de los objetos en su unión). En cuanto a las acciones coordinadas entre sí (por ejemplo, servirse de un objeto con el fin de empujar a otro), se las puede comparar con aquellas que originan las composiciones operatorias de carácter lógico-matemático (por ejemplo, servirse de un término medio como instrumento de comparación), pero la secuencia causal constituida por las primeras de esas coordinaciones produce, además de la coordinación de las acciones, una nueva modificación en los objetos (interacciones mecánicas, etc.), mientras que las coordinaciones del segundo tipo (seriaciones, inclusiones, etc.) se limitan a ligar las acciones del sujeto. Se comprueba así que la causalidad, del mismo modo que las operaciones lógico-matemáticas, se basa desde su comienzo en la actividad del sujeto, y que la conexión causal se apoyará tarde o temprano sobre las coordinaciones entre acciones, es decir, precisamente sobre nexos del mismo tipo que los lógico-matemáticos (de ahí el parentesco ulterior entre causalidad y deducción); empero, mientras que esa actividad del sujeto, en el caso de los nexos o de las operaciones lógico-matemáticas, se limita a agrupar los objetos sin modificarlos, salvo por enriquecimiento o por aporte de relaciones nuevas, en el caso de los nexos causales ella modifica los objetos y engloba esas modificaciones en las composiciones mismas. Mas, si bien esas modificaciones suministran el conocimiento de las cualidades físicas del objeto (peso, resistencia, etc.), sólo pueden ser concebidas por analogía con las acciones u operaciones del sujeto, cuyo ejercicio o composición brinda la única ocasión para descubrir tales modificaciones del objeto: así nace la causalidad, por una extensión de la acción o de la operación al objeto cuyas modificaciones serán asimiladas, en la medida de lo posible, a las operaciones propiamente dichas. Dicho más sucintamente, las operaciones lógico-matemáticas consisten en acciones ejercidas por el sujeto sobre los objetos, mientras que la causalidad agrega a esas acciones (abarcadas igualmente por ella), acciones análogas prestadas al objeto como tal: en la causalidad, por cierto, las transformaciones del objeto se vuelven operaciones en cuanto son englobadas en la composición de las operaciones propias del sujeto.

La evolución de la causalidad seguirá, entonces, exactamente las etapas del desarrollo operatorio, en la medida en que este progreso llegue a estructurar las interacciones entre el sujeto y los objetos, así como entre los objetos mismos, y no sólo las coordinaciones de la acción. Y bien, el desarrollo de las operaciones lógico-matemáticas consiste al principio en una coordinación de las acciones sensoriomotrices, más tarde en una reconstrucción de esas mismas acciones, con las carencias de composición y de reversibilidad características de toda intuición y, por fin, en una composición reversible de operaciones concretas, y formales luego. El desarrollo de la causalidad consiste recíprocamente en una asimilación, primero egocéntrica de las modificaciones de lo real a las acciones del sujeto, y más tarde en una asimilación descentrada a sus operaciones propiamente dichas. Empero, debido al hecho de que la realidad exterior interviene de un modo diferente en el nexo causal y en las operaciones lógico-matemáticas, la

acomodación a los objetos, concomitante con esa asimilación, no se traduce simplemente, como en el caso de estas operaciones, por una sumisión inicial a los datos perceptivos actuales, después por una liberación a su respecto y por una correspondencia con todas las situaciones perceptuales posibles; se traduce al principio por un fenomenismo sistemático que decrece luego y, después, por una acomodación a los aspectos cada vez más profundos de la realidad (profundo en el sentido de alejarse cada vez más de la acción inmediata).

En otros términos, en los niveles inferiores del desarrollo individual de la causalidad, los pequeños (hasta cerca de los siete años) están, al mismo tiempo, más cerca y más lejos de las cosas que nosotros; más cerca por atenerse a la apariencia fenoménica, pero más lejos por duplicar esas relaciones empíricas con adherencias subjetivas presentes en su asimilación a la acción propia. Sucede así que los chicos hasta alrededor de los seis a siete años creen que la luna los sigue (véase cap. IV, § 7) porque la apariencia fenoménica sugiere efectivamente esta creencia, mas no pueden evitar una interpretación de esos movimientos, sea atribuyéndose el poder de hacer avanzar la luna, sea admitiendo que es ella la que desea seguirlos. A partir del nivel de las operaciones concretas, por el contrario, la causalidad se libera a la vez del fenomenismo y del egocentrismo para encauzarse en dirección a la deducción aplicada a lo real. Toda la evolución de la causalidad, en el transcurso del desarrollo individual, es dirigida entonces por esos dos procesos: uno de desubjetivación y otro, de reemplazo de la apariencia empírica por el descubrimiento de modificaciones más profundas, no perceptibles pero deducidas operatoriamente.

De ese origen simultáneamente subjetivo, por asimilación egocéntrica a la acción propia, y fenoménica de la causalidad, y de ese doble proceso de liberación con respecto al yo y a la apariencia de las cosas, resulta una evolución en que se suceden cuatro períodos principales, sin tomar en cuenta el período sensoriomotor tratado al comienzo de esta sección.

Cuando, al proceder de la acción pura a la representación imaginada y verbal, los pequeños de dos a cuatro o cinco años comienzan a imaginar las causas y no a producirlas sólo por el movimiento, se reconocen (en virtud de un desfasaje general del acto hacia el pensamiento) formas de causalidad a la vez egocéntricas y fenoménicas *en grado máximo*, como en el ejemplo sensoriomotor anteriormente citado del cordón suspendido sobre la cuna, que se vuelve intermediario para actuar sobre cualquier cosa. De este modo, un niño de cinco años,[9] al descubrir que agitando la mano en forma de abanico se produce una leve corriente de aire, se sirvió de la idea, bautizada por él mismo, la "amano", para explicar diversos fenómenos que le llamaban la atención: por ejemplo, girando sobre sí mismo hasta darse vértigo, atribuía el hecho de que todo daba vueltas alrededor de él a una sacudida real de los objetos, provocada por la "amano" a con-

[9] Véase *La formation du symbole chez l'enfant.* Delachaux et Niestlé, págs. 272-274. [Hay versión castellana: *La formación del símbolo en el niño.* México, Fondo de Cultura Económica, 1962.]

secuencia de su propio movimiento giratorio; los adultos, por el contrario, no veían nada de las vueltas porque, al ser más altos, se encontraban ubicados en la "amano azul" fija (es decir, en el aire del cielo) en oposición a la "amano blanca" (= transparente) sujeta al torbellino. Se ve cómo ese concepto de la "amano" ilustra a la vez la asimilación egocéntrica de fenómenos a la acción propia y el fenomenismo de las apariencias externas. En el mismo nivel se encuentran muchos otros ejemplos de esa misma causalidad ligada a la acción propia: las sombras y la noche, el movimiento de los astros, etc., son vinculados, como el del aire, con la actividad egocéntrica.

Durante un segundo período (cuatro-cinco a siete-ocho años, término medio) esa precausalidad se sistematiza por delegación en los objetos mismos. El aumento de los "por qués" o de preguntas de carácter a la vez finalista y propiamente causal, el animismo y un artificialismo mezclados con una noción egocéntrica de la fuerza (cap. IV, § 5), etc., manifiestan así una causalidad siempre ligada a la acción, pero atribuida a las cosas. En este nivel, entonces, no hay todavía conceptos de conservación necesaria (cap. V, § 2), ni azar (cap. VI, § 1), ni composición de movimientos, de velocidades y de tiempo (cap. IV, §§ 2-4).

En el nivel de las operaciones concretas lógico-aritméticas y espaciales, el fenomenismo y el egocentrismo empiezan, por el contrario, a disminuir en beneficio de una causalidad que ya no procede de la simple acción, sino de composiciones del tipo operatorio: tales son los primeros esquemas atomistas que se originan en la conservación naciente de las cantidades físicas (véase cap. V, §§ 2 y 4) y las composiciones cinemáticas elementales. Sin embargo, las tendencias animistas y artificialistas subsisten en estado residual en un dinamismo bastante general que se observa especialmente en la explicación infantil del movimiento de proyectiles (cap. IV, § 5).

Por fin, en el nivel de las operaciones formales (hacia los 11-12 años), la construcción de los últimos esquemas elementales de conservación y de atomismo, el comienzo de la composición de los movimientos relativos con sus velocidades, la comprensión combinatoria del azar, etc., señalan la culminación de las formas comunes de la causalidad.

Proviniendo de formas iniciales a la vez egocéntricas y fenoménicas, nacidas de la acción simple, la causalidad culmina así en una deducción verdadera que surge de la coordinación de las acciones, capaz de disolver las apariencias y sustituirlas por un conjunto de composiciones inteligibles que oscilan entre lo operatorio propiamente dicho y la combinación probable. Tal evolución de las estructuras causales no podría explicarse ni por la experiencia externa ni por la interna únicamente: por el contrario, atestigua coordinaciones operatorias crecientes, surgidas de la actividad propia, y que descentran esta última en beneficio de la composición en sí. Pero esta composición, en lugar de atenerse sólo a las operaciones del sujeto, engloba un elemento real extraído de los objetos por medio de la experiencia y reemplaza así la pura sucesión lógica de las implicaciones, por una sucesión temporal. Sólo la realidad alcanzada por la causalidad, en oposición a las operaciones puras, es una realidad sucedánea: partiendo

de la apariencia sensible se aleja luego de ella cada vez más, para refugiarse en los datos inmediatos y para hacerse accesible sólo a la deducción, verificada y no ya sojuzgada por la experiencia.

2. Las etapas de la causalidad en la historia del pensamiento científico y el problema de la explicación causal. En sus formas iniciales, la evolución de la causalidad en el transcurso de la historia es análoga a la que acabamos de ver en el desarrollo individual. Pero, elevándose enseguida a niveles mucho más altos, plantea simultáneamente, por su desenvolvimiento propio y por la comparación de las estructuras más evolucionadas con las más elementales reveladas por la psicogénesis, el problema central de la causalidad: si ésta es, en todas sus etapas, una asimilación de lo real a las acciones y después a las composiciones operatorias del sujeto ¿cuáles son los elementos de la realidad que la deducción causal llega a integrar o, mejor dicho, en qué clase de realidad culmina esa reducción del universo físico a las operaciones constructivas del sujeto?

Desde el pensamiento precientífico o "primitivo" hasta la identificación, concebida por Descartes, entre la causa física y la "razón" deductiva (*causa seu ratio*), se puede distinguir en la abundancia de los tipos históricos de explicación causal, anteriores a la física moderna, un cierto número de modelos tales como la causalidad mágico-fenoménica, la animista y artificialista, el dinamismo aristotélico y por fin el mecanismo espacio-temporal. Y bien, su sucesión permite, a pesar de todas las sinuosidades y regresiones momentáneas, reencontrar un proceso de elaboración de la causalidad, análogo al que ya manifiesta la formación psicogenética de la idea de causa: primero una asimilación egocéntrica de lo real a la simple acción con la acomodación que se mantiene fenoménica, y después una asimilación a las acciones compuestas, o coordinaciones operatorias, con delegación de la operación a transformaciones de lo real, cada vez más alejadas de la apariencia inmediata.

En efecto, es sorprendente comprobar en qué medida todas las formas precientíficas de causalidad consisten en asimilaciones directas de lo real a las acciones humanas ejecutadas individualmente y sobre todo en común. Así es como la magia, que es según todos los indicios la primera forma de causalidad representativa (en oposición a la causalidad sensoriomotriz que permanece inmanente a las técnicas elementales) sólo constituye el despliegue de creencias en la eficacia de los actos, es decir de los gestos y aun de las palabras. En la magia imitativa en particular, se establece una participación directa entre las nubes o la lluvia, por ejemplo, y el humo del fuego encendido por el hechicero o el agua que éste derrama sobre el suelo: la puesta en conexión causal, implicada en la acción directa sobre cierto objeto y en la técnica, se prolonga así, independiente de contactos y distancias, en una acción generalizada que se constituye en causa primera y se une, a los ojos del hechicero, a la causalidad natural. Por cierto, esta causalidad inicial representa la quintaesencia del egocentrismo y del fenomenismo combinados pues, por una parte, somete las cosas a la acción

propia y, por la otra, imita el fenómeno en sus vínculos más aparentes. Estos dos polos de la causalidad inicial se vuelven a encontrar en todas las formas "primitivas" de causalidad, en proporciones diversas. Desde la causalidad llamada mística que atribuye los sucesos a la intervención de poderes ocultos, hasta las conexiones fenoménicas tales como la de atribuir el estallido de una epidemia al retrato de la reina Victoria o una pesca excepcional a las sombras chinas hechas por un viajero en la víspera, las formas elementales de causalidad oscilan así entre el acto humano y la sucesión empírica, pero siempre con una mezcla de ambos. Es cierto que Meyerson, en su profunda crítica de la obra de L. Lévy-Bruhl, consagrada a la causalidad mística,[10] insiste sobre el elemento de conservación que ya interviene en el ritualismo de los primitivos. Pero esa actitud de conservación naciente sólo podría ser derivada con respecto a la formación de sus antiguas costumbres; y éstas siguen siendo en su origen, a la vez sociomórficas, es decir, egocéntricas y fenoménicas, desde el punto de vista intelectual.

En las formas superiores de causalidad precientífica, esa asimilación de la realidad material a la acción adquiere un aspecto, al mismo tiempo más general y más descentrado, en el sentido de que las cosas mismas se vuelven fuentes sistemáticas de acciones conforme al modelo de las humanas pero también conforme al de otros seres vivientes cualesquiera. De ese modo, el "Orden del mundo" de los antiguos chinos,[11] así como su jerarquía de los "Poderes" suministra un ejemplo de esa transferencia de la acción a la realidad misma.

La causalidad o, más bien, las múltiples formas de conexión causal empleadas por los presocráticos suministran un ejemplo contrario, particularmente sugestivo, de transición de la causalidad-acción a la causalidad por composición operatoria concreta. La reducción del universo a una sustancia única susceptible de conservación y capaz de transformarse, gracias a un juego de compresiones y descompresiones, hasta adoptar las diversas formas sensibles de la multiplicidad de los cuerpos constituye en forma manifiesta un avance considerable en el sentido de la causalidad operatoria; la cuestión es tanto más clara cuanto que estos nuevos esquemas de explicación, fundados sobre las composiciones cualitativas analizadas en el capítulo V culminaron en un atomismo sistemático. Si los procesos de partición, de rarefacción y de condensación, etc., son concebidos, de ahí en adelante, no ya sobre el modelo de acciones simples atribuidas a los objetos, sino de acciones compuestas o de operaciones reales, no cabe duda de que la sustancia única de los milesios, fuente de este principio de coordinación racional, es considerada, en parte, como un ente activo, en un sentido todavía biomórfico: sin hablar del "hilozoísmo" de esos primeros físicos, que podría haber sido una filosofía simple superpuesta a sus conceptos causales efectivos; el mismo término de φύσις con que designaron

[10] I. Meyerson: "La mentalité primitive", *Année psychol.*, t. XXIII, 1922, pág. 214.

[11] M. Granet: *La religion des Chinois.* París, Gauthier-Villars, 1922.

la "sustancia primordial", conserva un sentido de crecimiento vital[12] (por ejemplo, en la expresión φύσις δενδρῶν = el crecimiento de los árboles) o de actividad creadora. La φύσις presocrática resulta así el término de pasaje entre la acción viva atribuida al objeto y la composición operatoria que da cuenta de sus transformaciones.

Mientras el platonismo entreveía la posibilidad de una causalidad física por coordinación operatoria, fundada sobre una deducción regresiva que hubiera aplicado los esquemas matemáticos a los fenómenos, Aristóteles cede a un espíritu de reacción con respecto a los mismos presocráticos y, volviendo al sentido común, retorna en realidad a una causalidad por asimilación a las acciones simples. L. Brunschvicg ha mostrado brillantemente cómo Aristóteles, al invocar la cuádruple necesidad de causas a la vez eficientes y finales, formales y materiales, habla alternadamente el lenguaje del biólogo y del escultor, es decir, de un animismo y artificialismo combinados: lo que viene a significar que reduce nuevamente las causas a acciones inmediatas y no compuestas, en oposición a las coordinaciones operatorias.

A pesar de Arquímedes, de los inicios de la astronomía matemática y del retorno al platonismo durante el Renacimiento, hay que esperar de hecho hasta Galileo, Pascal y Descartes para que la causalidad se libere por fin de la acción directa, a la vez egocéntrica y fenoménica, y alcance definitivamente el nivel de la composición operatoria, es decir, de las coordinaciones de la acción, pero aplicadas a la sucesión temporal y no simplemente formalizadas en operaciones lógico-matemáticas. A este respecto Descartes, más matemático que físico, no sólo va directamente a la meta, sino que la sobrepasa en ciertos aspectos, hasta asimilar sin más, por una simplificación llevada al extremo y admirablemente audaz, lo real entero a las composiciones geométricas más elementales. La explicación causal casi no se distingue más entonces de la implicación lógica, o la causa de la razón deductiva: *causa seu ratio*. En el umbral de la ciencia moderna, el nexo causal aparece como idealmente reducible a una ecuación, es decir a una composición de operaciones depuradas de todos los elementos egocéntricos adherentes a las acciones que dan lugar a esas operaciones; esa ecuación empero, en lugar de simbolizar simplemente las operaciones lógico-matemáticas que pueden aplicarse a lo real, adquiere un sentido causal en la medida en que expresa, además, una parte de la propia realidad; si el efecto es igualado a la causa, ésta no obstante permanece anterior en el tiempo y se supone que ambos se producen en el interior de las cosas. Respecto de esa igualación, ella es el indicio que caracteriza la construcción operatoria del efecto por la causa, y esta construcción, delegada en la realidad misma, es la que constituye en adelante la causalidad. Y si Descartes la quería espacio-temporal, es porque la construcción en cuanto operación resultaba la más simple posible: eliminando todos los otros aspectos de la realidad, relega unos (como la iniciación o la

[12] Véase A. Burger: *Les mots de la famille de ΦΥΩ en grec ancien*. París, Honoré Champion, 1925.

detención espontánea de un movimiento, en oposición a la conservación inercial) al campo de las apariencias fenoménicas, y los otros (la finalidad y la fuerza) al de las ilusiones egocéntricas. La figura causal de lo real se vuelve así muy diferente de la de la realidad inmediata: más pobre en un sentido puesto que lo espacio-temporal se disocia de las cualidades superficiales o ilusorias, pero más profunda y más rica en el otro, al participar de la fecundidad de las construcciones racionales. Referido a las operaciones que atañen al objeto, y concebido no obstante al margen de ellas, tal se presenta, en una primera aproximación, lo real de la causalidad matemática o deductiva, en su forma mecánica: es propiamente sólo el sistema de las modificaciones objetivas asimilables a las transformaciones operatorias de la geometría analítica, pero enfocado según un orden de sucesión temporal.

Sin embargo, las resistencias surgieron enseguida, a causa de la excesiva simplicidad de las operaciones encaradas, y se sucedieron según una curva histórica cuya prolongación es visible hasta en la microfísica contemporánea. La causalidad mecánica inicial, bajo su aspecto puramente espacio-temporal, chocó de entrada con una realidad irreducible a las localizaciones en el espacio euclidiano y en el tiempo que garantizaban su simplicidad y sus esperanzas de composición indefinida: así resultó que una reducción de la causalidad a operaciones demasiado simples puede bordear los peligros propios de la asimilación egocéntrica o deformante en cuanto favorece las construcciones mentales del sujeto a expensas de la complejidad del objeto. Para dar cuenta de la gravitación, Newton introduce la hipótesis de una fuerza cuya acción es instantánea y se ejerce a distancia, atacando así, de frente, el mecanismo cartesiano y la acción por contacto inherente a la explicación atomista renaciente. Newton remedia, entonces, la simplicidad exagerada de la composición operatoria propia de la causalidad cartesiana, introduciendo coordinaciones más avanzadas que engloban en un todo único la masa, la aceleración y la fuerza. Empero, a medida que esta fuerza queda mal integrada en el sistema de las operaciones, por gozar de privilegios tan inaceptables como aquella acción instantánea a distancia, la causalidad newtoniana deja de ser puramente operatoria: cubierta por una generalización audaz de nuevas composiciones dinámicas, reintroduce en realidad una "acción" aislada en oposición a las coordinaciones de conjunto, y hasta una acción teológica más que humana. Sin embargo, en virtud de su capacidad real de composición, el esquema newtoniano es generalizado luego por la física de las "fuerzas centrales" y se concilia con el atomismo; pero se derrumba vencido por el descubrimiento de acciones relacionadas con ciertos medios continuos cuyo estado es caracterizado por la medición posible de magnitudes en cada punto del espacio que ocupan aquéllos: los "campos" electromagnéticos. Así la gravitación, concebida como un dato primero e irreducible a causas mecánicas espacio-temporales, es sustituida por un nuevo dato primero: el de la magnitud de los campos que varía en el transcurso del tiempo. Con la equivalencia de las diversas formas de energía, por otra parte, la termodinámica y la física energética culminan en un nuevo tipo de conexión causal, basado simplemente sobre la

puesta en relación de ciertas magnitudes de estado, con independencia de las localizaciones en el espacio y en el tiempo. Abreviando, una serie de formas distintas de causalidad, eligiendo sucesivamente como dato primero una relación determinada aportada por la experiencia, transforma en cada nueva etapa la figura de lo real subordinando cada vez esta última a las operaciones (acciones experimentales y operaciones matemáticas) efectuadas sobre la realidad.

Con Einstein, quien termina por reducir la gravitación (la principal de las fuerzas centrales) al concepto de campo, interpretando aquélla por medio de una nueva geometría espacio-temporal, parece posible un retorno a la causalidad cartesiana, que engloba la energética misma al interpretar la conservación de la "impulsión del universo" por medio de esa geometría no euclidiana y de cuatro dimensiones. Sin embargo, por una parte, los campos gravitacionales y los electromagnéticos han resistido a la tentativa de reducirlos unos a otros; y por otra parte, el atomismo ha permanecido irreducible a las leyes de los campos, aun en el seno del electromagnetismo.

Comprobamos entonces que, desde antes de la física atómica contemporánea, el único principio constante de causalidad física ha sido el de la composición operatoria rigurosa con el corolario de una igualación métrica entre la causa y el efecto. Además, en escala macroscópica, es decir, antes de que el interés por los cambios de estados o por la estabilidad de éstos primara sobre el interés por las velocidades espacializables, la causa siempre fue concebida como simultánea o anterior al efecto (aun en el tiempo relativo de Einstein quien no invierte el orden temporal). Mas el contenido de la causalidad, es decir, de esas composiciones operatorias aplicadas a la sucesión temporal, ha variado sin cesar: el nexo causal se transforma de acuerdo con los datos experimentales nuevos, que tiende a asimilar a las operaciones deductivas. Más aún, rígido y simple al comienzo, debió ceder una parte cada vez más importante a la mezcla y al azar después que la causalidad estadística, sólo probable y ya no necesaria, se había revelado como indispensable para una cantidad creciente de dominios muy extensos.

Finalmente, con la microfísica contemporánea las diversas corrientes precedentes se reúnen en una síntesis caracterizada por dos aspectos principales. Por un lado, las leyes de los campos y las de la localización espacio-temporal se revelan como incompatibles en un mismo instante: las operaciones necesarias para la determinación en uno de estos dominios lo modifican de tal manera que el otro queda momentáneamente indeterminable, y recíprocamente; así la relación entre las leyes de los campos y las de la localización del objeto se subordina a un umbral de indeterminación que expresa la dependencia mutua de las operaciones en cuestión, cosa que ocurre tanto en el cálculo como en el experimento. Nada mejor que este descubrimiento para confirmar el hecho, ya visible en la historia anterior de la causalidad, de que el nexo causal supone necesariamente una elección entre los datos; y los datos elegidos como causas sólo pueden ser aislados y determinados mediante una modificación de lo real que disminuye la precisión de las determinaciones complementarias. Por el otro

lado, y como consecuencia de este hecho, el carácter estadístico y probabilístico de las leyes observadas, en lugar de ser concebido como secundario y como resultante de la interferencia de secuencias independientes, aislables en estado simple, se impone desde el principio por estar ligado con la conexión operatoria de la experiencia y de la deducción.

La sucesión de esas pocas etapas en la historia de la causalidad nos puede facilitar el esclarecimiento de este concepto esencial:

1. El primer punto que señalaremos es el equilibrio progresivo de las formas operatorias de causalidad en oposición a las formas precientíficas que hemos caracterizado por una asimilación de lo real a acciones simples, no componibles entre sí. Si se comparan las diversas explicaciones elaboradas para el movimiento durante el desarrollo de la causalidad, uno se da cuenta de que todas ellas son acertadas en cierta escala de observación a partir de Galileo y Descartes, mientras que todas las explicaciones anteriores debieron abandonar el terreno de la física propiamente dicha. La explicación animista del movimiento, por ejemplo, permanece exacta, si se quiere, siempre que sea reservado a la descripción global de los comportamientos psicofisiológicos. La explicación de Aristóteles, contraria al principio de inercia, al atribuir una finalidad a todo movimiento natural, es también físicamente falsa y sólo conserva validez aproximada en el plano biológico de los movimientos reflejos o instintivos. Por el contrario, la explicación galileana y la cartesiana del movimiento rectilíneo y uniforme que llega a reemplazar la velocidad, como medida del movimiento, por el cambio de velocidad o, más bien, del impulso (*mv*), sigue siendo enteramente exacta en una determinada escala de observación física. Lo mismo es válido para la explicación newtoniana de los movimientos celestes, por la combinación de inercia y de gravitación, explicación que conserva toda su validez para las velocidades alejadas de la de la luz. Las ecuaciones de Maxwell continúan rigiendo los campos electromagnéticos, salvo en escala atómica; etcétera. En una palabra, cada una de las relaciones causales, establecidas por una composición de operaciones lógico-matemáticas sobre ciertos datos limitados de la experiencia, queda indefinidamente válida (siempre que no haya error en la lectura de los hechos, por supuesto), salvo que su dominio restringido de validez sea incorporado luego a conjuntos más vastos que completan esta primera aproximación.

Empero, ¿cómo se obtiene ese equilibrio progresivo de las relaciones causales? ¿Es comparable al de las operaciones matemáticas que procede por construcción generalizadora, o acaso la incorporación de elementos externos a la conexión operatoria da lugar a "crisis" de características más imprevisibles y más contingentes? Recordemos, ante todo, que en matemática pura nunca han faltado semejantes crisis, pues aunque las operaciones recién descubiertas se vinculan siempre lógicamente con las precedentes, esto ocurre posteriormente; el descubrimiento en sí es, a menudo, fortuito. Bien podría ser entonces que los datos nuevos, impuestos repentinamente por la experimentación, desempeñen un papel análogo sin que

por ello la sistematización tardía de las relaciones causales deje de ser comparable a una composición de carácter puramente operatorio.

2. Un segundo aspecto general de la evolución de la causalidad permite resolver el problema precedente mediante una comparación con lo que se llama la "abstracción" progresiva de los conceptos matemáticos: el hecho de que cada nueva forma de relación causal obliga a sacrificar una parte de los elementos característicos de la forma anterior. Así, la explicación peripatética del movimiento sacrifica la conciencia del móvil que interviene en el animismo, pero gana la posibilidad de localización suministrada por la hipótesis del "lugar propio", punto de partida y de llegada de los desplazamientos. El principio de inercia sacrifica esa localización posible, lo que termina por restringir la causalidad a los cambios de impulso: la ganancia es ahora la generalidad del esquema de los movimientos relativos. Newton sacrifica la acción por contacto, para admitir como dato primero la atracción instantánea a distancia, y gana así la gravitación universal que, en lo sucesivo, parece aplicable en todas las escalas. La teoría de los "campos", por el contrario, termina, con Hertz, por abandonar la esperanza de reducir el éter a un modelo mecánico: el campo se vuelve el dato primero; las variaciones de sus magnitudes en el transcurso del tiempo son determinadas por las ecuaciones de Maxwell, una vez conocidos los valores en el espacio ocupado por el campo. Con el energetismo se aceptará como dato primero una relación aun más abstracta: la equivalencia general de las energías en el curso de sus transformaciones, con independencia de sus localizaciones espacio-temporales. Todos saben, por fin, cómo la teoría de la relatividad ha sacrificado el tiempo y el espacio absolutos, así como las conservaciones respectivas a individuales, de la masa y de la energía, para culminar en una síntesis más vasta, y cómo la microfísica ha renunciado finalmente a la síntesis directa de esquemas energéticos y atomistas para admitir la complementariedad entre las relaciones de localización espacio-temporal del objeto y las relaciones dependientes del carácter de los campos.

Empero, la gran diferencia entre esos sacrificios sucesivos y la abstracción gradual de las operaciones matemáticas reside en que esta última se aleja de la realidad inmediata en dirección a la construcción libre del sujeto, mientras que la abstracción progresiva propia de la causalidad se aleja de la misma realidad inmediata, pero hacia una realidad más profunda, de modo tal que el carácter de los sacrificios consentidos en el curso de las dos clases de abstracción no es el mismo en ambos casos. Siendo la abstracción matemática una abstracción a partir de acciones ejercidas por un sujeto sobre objetos, y no a partir de los mismos objetos, los aspectos esenciales de las operaciones elementales no son "sacrificados" en realidad en manera alguna por las operaciones superiores, que los desprecian reteniendo sólo sus aspectos generales, sino sólo sobrepasados y reducidos al rango de casos particulares: como tales están contenidos entonces en el caso general, no en el sentido en que una subclase está incluida en una clase superior de la que no puede ser deducida, sino en el sentido en que un

subgrupo está contenido en un grupo en cuanto sistema particular de operaciones necesarias a la coherencia del sistema total. Por esta razón la abstracción matemática, lejos de contradecir lo real al alejarse de la realidad inmediata, lo enriquece al encuadrarlo en marcos que le corresponden, y lo sobrepasa, al mismo tiempo, cada vez más.

La abstracción relacionada con las formas sucesivas de causalidad, aun participando parcialmente en el mismo proceso —en la medida en que la conexión causal es una composición operatoria cada vez más compleja en su estructura matemática—, presenta además un aspecto muy diferente en cuanto engloba elementos experimentales de procedencia externa. Los caracteres anteriores que la causalidad debe sacrificar sin cesar, sólo conservan, en efecto (y solamente a partir del nivel de la causalidad operatoria), un valor de primeras aproximaciones que rigen en una cierta escala de observación; por este hecho parecen luego como afectados por cierta ilusión: la ilusión que hacía creer en su adecuación precisa. Compárese, por ejemplo, la geometría euclidiana en cuanto operación lógico-matemática con las geometrías no euclidianas, y el espacio físico euclidiano (que interviene en la causalidad newtoniana) con los espacios físicos no euclidianos (invocados por la causalidad einsteiniana): para el matemático la geometría euclidiana sigue tan cierta después como antes del descubrimiento de las geometrías no euclidianas, pero es englobada como caso particular en el conjunto de las geometrías métricas (la ilusión descubierta posteriormente, consistió en haber creído en que era la única que podía realizar ese modelo de geometría métrica). Para el físico, en cambio, el espacio newtoniano sólo sigue válido en cierta escala y, por consiguiente, con un cierto grado de aproximación; pierde todo valor de verdad en sus conexiones con las relaciones generales (campo gravitacional, etc.) que Newton pretendía ligar a su suerte. Por esta razón, a pesar del equilibrio progresivo de las formas de causalidad de que hablamos en el punto 1, cada transformación de la causalidad conduce no sólo a una nueva jerarquía de las escalas de aproximación, lo que acaba por disminuir el grado de validez de las formas causales anteriores, sino a relegar además sea en el dominio de las apariencias fenoménicas, sea en el de las relaciones egocéntricas, ciertos aspectos de los caracteres sacrificados.

Resumiendo, sin consistir exclusivamente en semejante proceso (puesto que acompaña al progreso de la composición operatoria), el progreso de la causalidad atestigua ante todo una verdadera abstracción a partir del objeto, es decir, una extracción cada vez más refinada de los caracteres generales de la realidad: así es cómo los conceptos de fuerza, energía, campo, etc., son conceptos efectivamente extraídos de lo real (y aun de acuerdo con un grado cada vez más avanzado de abstracción) y no abstraídos de la coordinación de acciones y agregados por ende a la realidad por el mecanismo operatorio. Estos últimos conceptos intervienen también en la causalidad, repitámoslo, pero no son los únicos; y cuando interviene una abstracción a partir del objeto, las formas anteriores de causalidad no aparecen como casos particulares de las formas ulteriores enteramente en el mismo sentido en que las operaciones elementales matemáticas sí

constituyen casos particulares de las operaciones superiores. Sin duda se puede deducir la gravitación newtoniana a partir de la de Einstein, reduciendo a cero ciertas relaciones nuevas contenidas en las fórmulas de la relatividad, pero por pura deducción matemática; desde el punto de vista físico, el caso particular sólo está ligado en realidad al caso general en cuanto dominio restringido, delimitado gracias a ciertas simplificaciones permitidas, mas no rigurosas.

3. Empero, este proceso de abstracción progresiva, que caracteriza la evolución de la causalidad, es acompañado por un proceso complementario de generalización. Conviene examinarlo con el mayor cuidado porque de su mecanismo depende, en definitiva, el valor de explicación inherente a la causalidad física. En efecto, no basta con saber que las formas sucesivas de causalidad están cada vez mejor equilibradas y que este equilibrio creciente se debe a una abstracción gradual: falta todavía comprender por qué las formas más abstractas, que en estabilidad superan a las formas más fenoménicas y egocéntricas, alcanzan una mejor explicación de lo real; y bien, ésta se debe precisamente al proceso de generalización.

La teoría del movimiento en Aristóteles debía distinguir los movimientos naturales y los violentos, los movimientos sublunares y los celestes. Por el contrario, la cinemática galileana es mucho más general por ser más abstracta y se aplica a todos los movimientos a la vez. ¿Es posible entonces decir que la causalidad en la mecánica clásica es más explicativa por ser más general, y qué significaría en este caso esa relación entre la generalidad y el poder explicativo? La mecánica relativista engloba por su parte la mecánica clásica, pero independizando las leyes naturales de todo sistema de referencia y confiriendo así al nuevo sistema una generalidad muy superior aún. Los mismos dos interrogantes vuelven a presentarse entonces, y en los mismos términos. Las ecuaciones de Maxwell engloban las antiguas leyes de las fuerzas centrales, pero las completan en un conjunto de leyes más generales que la abstracción hace posibles, al conferir al concepto de campo electromagnético el valor de un dato primero: ¿trátase nuevamente de esa mayor generalidad que da cuenta del carácter explicativo de la física de los campos, pero en qué sentido? Del mismo modo las leyes estadísticas parecen más generales que las estrictamente mecánicas, puesto que las engloban: ¿es entonces esa mayor generalidad la que las explica? Por fin, la complementariedad introducida entre la onda y el corpúsculo, al atribuir a la onda el carácter de discontinuidad, propio de los objetos elementales, al introducir los cuantos en el propio campo electromagnético y al concebir el corpúsculo como una especie de onda concentrada, es, por cierto, más general que los conceptos separados de onda y de partícula en el sentido clásico del término. Por doquier y siempre el avance de la explicación se basa entonces sobre un avance de la generalización. Pero ¿qué significa esta generalización y en qué sentido es fuente de la explicación?

De hecho, existen dos clases de generalizaciones cuyas manifestaciones se pueden observar desde la aparición de la inteligencia infantil hasta la cúspide del pensamiento científico. La primera no entraña ningún poder

explicativo y sólo satisface a la mente provisoriamente: es aquella que procede a partir del hecho individual hacia la ley, es decir, de la relación más especial a la más general. "¿Por qué es dura esta vereda?" preguntó un niño citado por Claparède a un adulto poco imaginativo: "Porque todas las veredas son duras", le contestaron, y él quedó satisfecho. Tal generalización indica ciertamente un progreso en el conocimiento y se asemeja a la que atestigua el establecimiento de toda ley general. Pero es difícil encontrar ahí una explicación propiamente dicha; se plantea por lo menos el problema de saber si la curiosidad del sabio no persigue otro fin que el de descubrir leyes semejantes, con diversos grados de abstracción. La segunda forma de generalización procede, en cambio, por composición operatoria y posee entonces un poder explicativo ligado a la necesidad de las composiciones en juego. Así, el niño de siete a ocho años, ni bien comprende la reversibilidad de la descomposición partitiva, admitirá la conservación de la materia en el caso del seccionamiento o de la deformación de una bolita de barro, mientras que habrá dudado hasta entonces en cuanto a las modificaciones demasiado grandes: la ley general es explicativa, por ende, en la medida en que aparece como necesaria, y se vuelve tal en la medida en que la generalidad es construida y no comprobada, y en que la generalización de la construcción emana de su necesidad operatoria.

El problema reside entonces en saber de qué forma es la generalidad creciente de las conexiones causales. El alcance de esta pregunta se impone enseguida: si la abstracción gradual de las estructuras causales nos pareció traducir, ante todo, su aspecto experimental y el aporte específico de la realidad exterior, la generalización (del segundo tipo) expresa, por el contrario (y en oposición al primer tipo precisamente), el carácter operatorio o constructivo de la causalidad. En consecuencia, por cuanto la abstracción progresiva de los nexos causales es acompañada por una generalización tipo dos, u operatoria, volveremos a encontrar en la causalidad esas características de unión íntima entre la operación y lo real que nos han sorprendido de entrada.

Empero, es bien sabido que el problema planteado así no es otro que el de los conflictos seculares entre positivismo y racionalismo: el positivismo pretende eliminar el concepto de causa en favor del primer tipo de generalización, y los diversos racionalismos mantienen su legitimidad en nombre del segundo.

3. La causalidad según A. Comte y la interpretación positivista de la física. A primera vista, el positivismo parece la expresión acabada del espíritu científico. Lo propio de una teoría científica reside en delimitar su objeto lo más exactamente posible, en oposición a la filosofía que aspira a un conocimiento total: restringir las hipótesis a las indispensables y disociarse de la "metafísica" son requisitos de la lógica de toda ciencia. Es cierto que el positivismo extrema este espíritu de ascesis o de restricción hasta retroceder ante la explicación como tal, es decir, hasta una eliminación de la causalidad. Pero esta desviación de la actitud propiamente científica hacia la interdicción de explicar, también se explica fácilmente:

en el transcurso de una fase preliminar por la que pasa todo conocimiento científico, se trata de establecer previamente la correcta fundamentación de ciertas leyes antes de pensar en poder explicarlas; durante este período delicado de crecimiento en que recurrir a explicaciones prematuras y sobre todo ajenas al dominio enfocado constituye una verdadera tentación para el sabio, la explicación en general puede parecer ilegítima y por ende "metafísica".

De ahí resulta que ese positivismo, en cierta manera provisorio y metodológico, sea tan viejo como la ciencia experimental y renazca sin cesar de sus propias cenizas, enhorabuena, por lo demás, puesto que protege al sabio contra el riesgo de saltar a conclusiones. Así fue como L. Brunschvicg pudo considerar a Galileo como positivista a pesar de él. La célebre fórmula de Newton, *Hypotheses non fingo*, atestigua la misma tendencia, lo que no ha impedido luego a su autor adherirse, por falta de otras hipótesis convenientes, a una explicación de la más hermosa de las leyes por un concepto causal que hubiera alcanzado para justificar a todos los Auguste Comte. Cuando Lagrange construye su "mecánica analítica" sobre el modelo de la Geometría de Descartes, la eliminación de las "figuras" y el recurso exclusivo a las ecuaciones diferenciales provienen de la misma necesidad de reducir las interpretaciones al *mínimo*. Se sabe cómo la *Théorie analytique de la chaleur* de Joseph Fourier no sólo converge con el ideal de Lagrange, sino que inspira además directamente el *Cours de philosophie positive* de A. Comte.

Se cumple entonces el pasaje del positivismo metodológico al positivismo doctrinario o, como lo dice tan bien L. Brunschvicg, de "la filosofía de la ciencia positiva" a "la filosofía positivista de la ciencia".[13] Lo propio del positivismo doctrinario no es disociar la ciencia de la metafísica, lo que define simplemente el ideal científico: es decidir a priori, es decir, definitiva y dogmáticamente, lo que compete a la ciencia, por un lado, y a la metafísica, por el otro. Las profecías fallidas y las interdicciones imprudentes de Auguste Comte han causado mucha risa o tristeza —según las simpatías. Pero habría que comprender que, sin tales interdicciones definitivas y sin una anticipación del porvenir de la ciencia, el positivismo no existiría, puesto que es, a diferencia de la ciencia, una doctrina cerrada y no abierta. Poco importa entonces el contenido de las interdicciones: la existencia de éstas es lo esencial para un filósofo positivista. El neopositivismo del Círculo de Viena, aunque alertado por las aventuras del fundador de la filosofía positiva y más prudente, recae sin embargo, también él y con toda lógica, en ese sistema de los *veto* sin apelación: por ejemplo, las "proposiciones sin significación" de que abusan los filósofos de la Escuela de Viena, por más feliz que sea muchas veces el esfuerzo por cuidarse de la metafísica, corren el riesgo de tener un día la misma suerte que los anatemas de Auguste Comte.

Ahora bien, entre las interdicciones formuladas por Auguste Comte con la intención de marcar los límites definitivos de la ciencia "positiva",

13 *L'expérience humaine et la causalité physique*, pág. 337.

figura precisamente, y hasta en primer lugar, la prohibición de investigar las "causas". El objeto propio de la ciencia sería así el establecer leyes, es decir relaciones constantes de sucesión y de similitud como también de su coordinación, y de ninguna manera el conocimiento de la "naturaleza íntima" de las cosas: de modo que pretender captar el "modo esencial de producción" de los fenómenos constituye una meta ilusoria y para siempre inaccesible a la teoría científica. Esta concepción es tanto más curiosa cuanto que Auguste Comte entrevió el nexo entre conocimiento y acción, en un sentido muy estrecho por cierto: la meta última de las ciencias, dice Comte, no es tanto conocer como actuar y, por consiguiente, no explicar sino prever, como si la acción se limitara a utilizar previsiones en lugar de producir y construir. La explicación en las ciencias, lejos de significar para Comte una búsqueda de las causas, debe dedicarse entonces exclusivamente a reducir las relaciones observadas a leyes y coordinar entre sí las leyes establecidas hasta obtener las leyes más generales posibles; la función epistemológica de dichas leyes y de su coordinación consiste simplemente en permitir la previsión y por ende la utilización basada sobre tal anticipación. Respecto de la forma matemática de las leyes o de su coordinación, sólo es un medio de expresión preciso por estar basado en un potente instrumento de análisis, pero la deducción analítica no desempeña, en modo alguno, el papel de una construcción propiamente explicativa: al contrario, sólo constituye el medio más seguro para alcanzar la generalidad sin recurrir a la imaginación ontológica o representativa.

La generalidad de las leyes está moderada además, según Auguste Comte, por los datos objetivos de la experimentación. Lejos de la pretensión de deducir todo el universo de los fenómenos a partir de las relaciones geométricas o analíticas más generales, Comte se dedicó a trazar los límites "definitivos" de las diversas familias de fenómenos, precisamente porque se somete pragmáticamente a la diversidad de lo real y porque considera la matemática sólo como instrumento de "análisis" y no de construcción. De ahí deriva su famosa clasificación de las ciencias, cuyo significado profundo consiste en insistir sobre la irreducibilidad de los diversos planos de la realidad, jerarquizados en un orden de generalidad decreciente y de complejidad creciente; de ahí surge, por otra parte, el rechazo de asimilar unos a otros, en el campo de la física, los dominios relacionados por puras "analogías gratuitas". De esta doble desconfianza respecto de toda generación progresiva se derivan ahora una serie de consecuencias sorprendentes: heterogeneidad de la astronomía, de la física y de la química; rechazo de extender los esquemas mecánicos o gravitacionales más allá de un terreno limitado; rechazo de comparar la ondulación luminosa con la vibración sonora, etc., y la intención de interpretar aparte cada conjunto de fenómenos con los recursos del análisis matemático únicamente, por una presunta falta de coordinación intrínseca entre los hechos físicos, comparable a la coordinación interna de los datos astronómicos.

Desde nuestro punto de vista en cuanto a los dos tipos de generalidades (véase parte final del § 2), la interpretación comteana del pensamiento

científico y del físico en especial suministra entonces el modelo de una epistemología fundada exclusivamente sobre el primero de los dos tipos: generalidad por simple inclusión, y no por composición operatoria. Como nos ha mostrado su desarrollo psicológico e histórico, la causalidad se presenta bajo dos formas muy distintas, aunque la segunda derive de la primera: primero una asimilación a las acciones simples y no compuestas entre sí (de ahí las formas egocéntricas y antropomórficas de explicación); después una asimilación a las acciones compuestas entre sí, es decir a las operaciones y sus coordinaciones necesarias. Y bien, Auguste Comte condena con razón la causalidad en su forma inicial de asimilación a la acción humana, pero incluye luego ilegítimamente en su condenación la causalidad en su forma operatoria y deductiva. Resulta así que, con respecto al problema de la generalidad, sólo reconoce la existencia de la generalidad inclusiva o puramente formal, sin darse cuenta de la fecundidad de la generalización operatoria cuyas construcciones reúnen precisamente las condiciones para dar cuenta del modo de transformación y por ende de producción de los fenómenos. Todo el problema de la epistemología comteana se centra así en el de la generalización: tanto la interdicción de la explicación causal (tanto operatoria como por asimilación a la acción) en favor del establecimiento de leyes solamente, como las limitaciones impuestas a los diferentes dominios legales (concebidos como irreducibles unos a otros y, en último caso, susceptibles de un simple encasillamiento jerárquico), constituyen, en efecto, las dos consecuencias lógicas de una interpretación de la ciencia física por medio de la generalidad puramente formal o inclusiva.

Es inútil emprender la crítica al pensamiento comteano recordando el hecho, destacado con tanta insistencia por E. Meyerson, de que el pensamiento científico, a pesar de todas las interdicciones positivistas, ha perseguido constantemente la investigación de las causas y el estudio del "modo esencial de producción" de los fenómenos. La cuestión que conviene en cambio tomar como punto de partida es la de los límites entre la ciencia y la metafísica. Cabe preguntarse en efecto si, en la medida en que la ciencia es una victoria perpetua sobre la metafísica, no habría contradicción en adoptar una posición antimetafísica para hoy y aun para mañana, y en clasificar los problemas, de una vez y para todas, en científicos y metafísicos. La historia de las ciencias consiste en un perpetuo desplazamiento de las fronteras entre estos dos dominios, y es tan vano y "metafísico" especular sobre las fronteras futuras de la ciencia, como es sabio y "científico" respetar los límites asignados, en una determinada etapa del desarrollo histórico, entre lo verificable (por experimentos o por axiomas) y la improvisación subjetiva. De que el positivismo desempeñe un papel útil al perseguir tenazmente la metafísica personal que tantos sabios procuran hacer acreditar gracias a la autoridad que les confieren sus descubrimientos, no puede caber duda. Pero si proclama el "cierre" definitivo de las fronteras, todo esfuerzo de invención creadora se verá amenazado.

El concepto de causa, en cuanto orientado hacia el modo de producción de los fenómenos, no es en sí ni científico ni metafísico: debe resolverse

con respecto a cada una de sus formas y aun al contexto en el cual interviene. Pero hay más: no sólo el concepto de causa es capaz de revestir un carácter científico, sino su evolución misma, que procede de la asimilación a acciones humanas hasta la coordinación operatoria, ¡podría haber sido invocada por Comte como ejemplo viviente de su ley de los tres estados! A este respecto es muy sorprendente comprobar que todas las premisas del sistema de Comte deberían haberlo conducido a una interpretación "positiva" de la causalidad, mientras que él se quedó a mitad de camino. Por un lado, el análisis del "estado teológico" le mostró que las primeras explicaciones de lo real consistieron en concebirlo como sometido a acciones que imitaban a las humanas, reduciéndose así la causalidad inicial a una extensión de la acción intencional y productora. Por otro lado, él considera el "estado positivo" el de la acción efectiva sobre las cosas: el objeto de la ciencia no es el conocer a la manera del metafísico, sino el saber actuar. Sólo que la acción se limita a utilizar relaciones previsibles, dice Comte sin querer reconocer que ella produce y reproduce efectivamente o en pensamiento, es decir, que opera y compone, lo que implica precisamente una explicación causal, pero por coordinación operatoria y no ya por acciones simples y egocéntricas.

Aquí es donde resurge el problema de lo que Comte denomina la "coordinación", es decir la cuestión de la generalización de las leyes. Admitamos con él que la ciencia se limita a establecer leyes y a "coordinarlas" entre sí. Es cierto que él predijo el fracaso de todo atomismo futuro porque el atomismo constituye un esquema explicativo. Pero hoy podría contestar que también la física nuclear se reduce a cierta cantidad de leyes, ligadas unas a otras gracias a una coordinación matemática, mucho menos geométrica que analítica, y que la realidad íntima correspondiente a esas leyes es poco menos que irrepresentable. Podría decir otro tanto de la física de los astros, de las investigaciones de Regnault acerca de la compresibilidad de los gases, de la estadística física y de tantos otros dominios en que, a pesar de los errores de predicción ocasionados por el sistema cerrado, podría aun hoy justificar su opinión sobre la primacía de las "leyes".

Mas, ¿en qué consiste la coordinación de esas leyes? Y ¿qué se puede pensar hoy de su negativa a buscar una reducción progresiva de los diversos niveles en la jerarquía de las ciencias o aun de los diferentes dominios internos de la física, juzgados como irreducibles por sus caracteres cualitativos distintos? Es en tales puntos donde se observan mejor las lagunas de su concepto de generalización y, por consiguiente, de su interpretación de las relaciones entre la construcción matemática y la explicación causal de la realidad.

Si la matemática constituye un simple medio de análisis relacionado con los hechos físicos que se deben formular y, por ende, un lenguaje esencialmente formal orientado a producir "ecuaciones semejantes" sin alcanzar las analogías reales, resulta claro entonces que, cuanto más general sea una ley, tanto menos realidad concreta abarcará: de ahí surge esa doble consecuencia de que las leyes no son explicativas y de que, al no poder explicarse lo especial por lo general, es cuestión de limitar la gene-

ralización para conservar la originalidad de los diversos sectores específicos de los fenómenos. Lo complejo más especial queda así para siempre irreducible a lo elemental más general en la jerarquía de las ciencias; asimismo los dominios cualitativamente heterogéneos de la física serán para siempre irreducibles entre sí, salvo por sus analogías formales solamente.

Pero, si la generalización matemática consiste, por el contrario, en una construcción operatoria en la que lo general sea más rico y no más pobre que lo especial o lo singular, porque aun sin poseer las cualidades propias de los casos particulares reviste el modo de composición que permite construir el conjunto de esos casos y transformarlos unos en otros, entonces sí el problema se plantea en términos completamente diferentes. Por cierto, no todas las leyes generales serán explicativas ya que la generalidad por inclusión simple puede subsistir al lado de la generalidad por composición operatoria. Pero el esfuerzo para deducir un dominio legal a otro no se limita a alcanzar esa generalidad puramente inclusiva, sin lo cual la misma reducción fracasa volviéndose formal: ese esfuerzo tiende a elaborar las leyes de transformaciones mismas, al permitir el pasaje indistinto de lo inferior a lo superior y viceversa, o de uno a otro de dos dominios yuxtapuestos. La causalidad operatoria (en oposición a la simple) es, precisamente esa composición de las relaciones (por ende de las leyes) conforme al modelo de la generalización constructiva. Por esta razón, aunque el desarrollo de la causalidad esté marcado por una serie de sacrificios sucesivos (véase § 2), la generalización que acompaña a esta abstracción gradual es fecunda en la medida en que procede por composición operatoria. Al abandonar, por ejemplo, la hipótesis de las fuerzas centrales en favor del concepto abstracto de "campo", parecíase optar por una generalidad estéril y renunciar a poder dar cuenta del movimiento de los corpúsculos. La síntesis entre los dos dominios consistió en considerar que las leyes estadísticas de los movimientos corpusculares expresaban las variaciones espacio-temporales de la magnitud de los campos, mientras que los movimientos mismos eran concebidos como si fueran determinados por fuerzas enteramente definidas por medio de aquellas magnitudes de campo. El criterio operatorio de esta síntesis reside en que la totalidad así construida se caracteriza por principios de conservación (energía total de los campos y corpúsculos y conservación del impulso) comparables a los invariantes de grupo en las transformaciones matemáticas. Que esa síntesis haya sido cuestionada por la microfísica, poco importa: la nueva síntesis, nacida de abstracciones nuevas, y que consiste en considerar "complementarios" los aspectos referentes a los campos y a los corpúsculos, representa un nuevo ejemplo de generalización operatoria y no simplemente inclusiva.

En resumen, el error central de la interpretación de Comte no radica en haber afirmado la primacía de las leyes con respecto a los esquemas representativos basados en imágenes o aun simplemente geométricos, pues la geometría y el análisis se corresponden término a término, y lo que subsiste tarde o temprano de las representaciones en imágenes es, precisamente, sólo un conjunto de leyes situadas simplemente en un nivel diferente, inferior al del conjunto de fenómenos que se trataba de explicar. El

defecto esencial de la filosofía positivista clásica —y lo volveremos a encontrar bajo un aspecto nuevo en el neopositivismo del Círculo de Viena— es haber errado la solución del problema de la generalización y, por consiguiente, la de la coordinación de las leyes entre sí. La razón de esto habrá que buscarla, sin duda, en su sociología insuficiente y en sus prejuicios antipsicológicos. Bien se dio cuenta de que existía una relación social y mental entre el conocimiento y la acción; pero la encaró desde el ángulo de su utilidad final, sin comprender que el pensar procede a partir de los actos en forma de operaciones, y sin ver a qué interpretación operatoria de la matemática conduce necesariamente tal conexión.

Por no admitir, entonces, que la generalización por composición de operaciones entre sí constituía una construcción propiamente dicha, y por ende una "producción" capaz de corresponder al "modo de producción" íntimo de los fenómenos, sólo vio en esa construcción un lenguaje, sin comprender que puede "explicar" las leyes, las unas por las otras, al asimilar las transformaciones físicas a las operatorias organizadas de ese modo. A partir de entonces, al reducirse para él la coordinación de las leyes a una simple inclusión, se vio obligado a limitar el papel de la generalización; la coordinación operatoria, en cambio, conduce a la asimilación recíproca entre dominios distintos, incluidos aquellos que se juzgan inferiores o superiores según su rango en la jerarquía de las ciencias. Por esta razón la sucesión de las ciencias constituye en realidad un orden cíclico y no rectilíneo como lo obligaba a aceptar su concepción de lo general y de lo especial.

4. El nominalismo de P. Duhem y el convencionalismo de H. Poincaré. Entre la interpretación de la física por el positivismo de Auguste Comte y las teorías neopositivistas que, como veremos (§ 5), vuelven a cuestionar todas las relaciones entre deducción y experiencia, se produce un acontecimiento capital para la comprensión de esas mismas relaciones: la crítica de los principios generales de la física matemática por Poincaré. El alcance de esta crítica, en efecto, no podría ser subestimado aun cuando el progreso ulterior de los conocimientos hizo caducar algunos de sus aspectos. Por una parte, y a pesar de la posición antilogística de Poincaré, su "convencionalismo" representa una de las fuentes de las teorías modernas que transforman la lógica y la matemática en un lenguaje o en una "sintaxis" tautológica. Pero sobre todo, por otra parte, el pensamiento de Poincaré ha hecho redescubrir el papel de la deducción y de la generalización matemáticas en la elaboración de teorías y aun de "hechos" físicos. En la medida en que superó su propio convencionalismo, podría decirse que retradujo a Kant al lenguaje físico moderno y lo corrigió al mismo tiempo en el sentido de la movilidad lógica y psicológica.

La doctrina de Duhem se ubica, a este respecto, en una posición intermedia entre el positivismo de Comte y la actitud de Poincaré. Preocupado por demostrar que la teoría física no alcanza lo real en sí (pero por razones inversas a las de Auguste Comte, pues quiere proteger una cierta metafísica contra la ciencia y no ésta contra la metafísica...), P. Duhem

llegó a descubrir [14] que el hecho físico es siempre el producto de una elaboración compleja y sólo existe entonces en relación con una interpretación teórica, dicho de otra manera, respecto de una actividad matemática del sujeto.

Se sabe que Duhem era tomista y pensaba la realidad, en definitiva, conforme a los cuadros de la filosofía aristotélica.[15] Mas, suficientemente crítico como para reconocer que una filosofía de esa índole no podría obtener la aprobación general ni sobre todo ser demostrada por la física moderna, llega a sostener con Auguste Comte que la explicación causal está para siempre vedada para la ciencia. El conocimiento científico no podría entonces depender de sistema metafísico alguno, y esta última idea, tan ampliamente desarrollada por él como por Comte, comprende en particular el mecanismo cartesiano, el atomismo de Huyghens y el dinamismo de Newton, así como también el recurso a las cualidades sensibles de la "escuela peripatética" (pág. 14). Resulta que "una teoría física no es una explicación; es un sistema de proposiciones matemáticas, deducidas de un pequeño número de principios cuyo fin es representar con la mayor sencillez, completitud y exactitud posibles un conjunto de leyes experimentales" (pág. 24). Respecto de esa representación, ella no consiste en imágenes sino en "juicios acerca de las propiedades físicas de los cuerpos"; "esos juicios son comparados con las leyes experimentales que la teoría se propone representar; si concuerdan con las leyes... la teoría ha logrado su fin..." (págs. 25-26). "Así, una teoría verdadera no es una teoría que da una explicación de las apariencias físicas conforme a la realidad, sino aquella que representa de un modo satisfactorio un conjunto de leyes experimentales" (pág. 26). Economía intelectual, como dice Mach, "clasificación" de las leyes (pág. 30), y aun "clasificación natural" (pág. 32), es decir, de la que "suponemos que las relaciones establecidas por ella entre los datos de la observación corresponden a relaciones entre las cosas" (pág. 35) (pero sin que esta convicción tenga otra garantía que la de un "acto de fe", pág. 36); por fin, capacidad de previsión: tales son las tres utilidades principales. Duhem condena también, con la misma energía que Comte, las "teorías representativas" (pág. 40) y los "modelos mecánicos" (pág. 77), obra de mentes amplias y superficiales en oposición a las teorías abstractas de las mentes profundas y estrechas.

Si tal es el objeto de la teoría física, veamos su estructura. Duhem, quien realizó elegantes trabajos sobre termodinámica y fisicoquímica aporta su contribución más interesante sobre este punto. La teoría física es esencialmente matemática (pág. 157), es decir, se refiere a las cantidades y magnitudes reconocibles por su aditividad (págs. 159-163): "cada cantidad es la reunión, por una operación comutativa y asociativa, de cantidades menores que la primera, pero de igual especie que ésta y que son sus partes" (pág. 163). La teoría física ignora pues la cualidad cuya

[14] P. Duhem: *La théorie physique, son objet, sa structure*. Rivière, 2ª ed. 1914.

[15] *Ibid.*, véase apéndice (págs. 413-472) titulado "Physique de croyant".

intensidad es bien expresable por los signos =, > y < (pág. 164), pero en cuya "categoría" "no se encuentra operación alguna a la vez conmutativa y asociativa que pueda merecer el nombre de adición y ser representada por el signo +; la *medida*, surgida del concepto de adición, no podría operar, entonces, sobre la cualidad" (pág. 166). Sin embargo, la física expresa con números las diversas intensidades de una misma cualidad (pág. 170), mas la escala métrica reposa entonces sobre "algún efecto cuantitativo que tiene por causa esa cualidad" (pág. 175), la cual, por ende, no es medida en sí misma pues "en el dominio de la cualidad el concepto de adición no tiene cabida; pero se vuelve a encontrar cuando se estudia el efecto cuantitativo que suministra una escala apropiada para referir las diversas intensidades de una cualidad" (pág. 175).

Después de esto se comprende que una teoría física supone toda una elaboración de lo real. Para la teoría "un experimento físico no es simplemente la observación de un fenómeno" (pág. 217) porque entre el hecho bruto tal como la oscilación de una cinta sobre un espejo, y el hecho físico correspondiente, por ejemplo la resistencia eléctrica de una bobina, se intercala toda una interpretación referida en esencia a las teorías admitidas (págs. 217-218): "esta interpretación sustituye los datos concretos realmente recogidos por la observación, por representaciones abstractas y simbólicas que les corresponden en virtud de las teorías admitidas por el observador" (pág. 222). El experimento físico es, por ende, completamente distinto del experimento fisiológico, "relato de hechos concretos, obvios" (pág. 222). Y esa interpretación es más que un lenguaje, puesto que un enunciado abstracto puede realizarse de muchas maneras diferentes (págs. 224-229) y, a la inversa, "a un mismo hecho práctico pueden corresponder un sinfín de hechos teóricos lógicamente incompatibles" (pág. 229). Las leyes físicas mismas no son propiamente hablando ni verdaderas ni falsas sino aproximadas, provisorias y relativas, por ser esencialmente simbólicas (pág. 263) y por basarse en una correspondencia "de ningún modo inmediata", "entre una cosa significada y el signo que la reemplaza" (pág. 251): cada ley constituye así el producto de una abstracción solidaria con "todo un conjunto de teorías" (pág. 254). Resulta entonces que "un experimento físico nunca puede invalidar una hipótesis aislada sino solamente todo un conjunto teórico" (pág. 278): "el *experimentum crucis* es imposible en física" (pág. 285). Además, ciertos principios escapan a la verificación experimental al intervenir en teorías de conjunto sometidas a esta verificación; en efecto, "la contradicción experimental afecta siempre la totalidad de un conjunto teórico sin que nada pueda indicar cuál es la proposición en ese conjunto que debe ser rechazada" (pág. 229): por esta razón se es siempre libre de conservar los principios, es decir, "esas hipótesis que se han convertido en convenciones universalmente aceptadas", salvo "que se las modifique radicalmente" (pág. 322) cuando uno "se harta de atribuir a alguna causa de error" los desvíos observados en el curso de los experimentos.

Tal es, a grandes rasgos, el "nominalismo" de Duhem. Aparte de la importancia que tuvo su concepción simbolista de la teoría matemática en

física, retomada y refundida por los neopositivistas (véase § 5), el interés principal de su obra reside en el análisis de la elaboración intelectual tan compleja que conduce del hecho bruto al hecho y a la ley físicos y, luego, a la teoría de conjunto. Con respecto a estos últimos puntos sólo podríamos tomar nota de la convergencia entre los resultados obtenidos por Duhem y los de la investigación psicológica: el hecho bruto no es simplemente imitado por el hecho conceptualizado o físico: es *asimilado* a los esquemas lógico-matemáticos, y el producto de esa asimilación es lo que constituye la ley. ¿Habrá que concluir por eso que la teoría física, que "representa" las leyes en un esquema de conjunto, sólo tiene un alcance "simbólico" y fracasa ante toda explicación? Es posible que Duhem, metafísico ontólogo, no se haya percatado de cuán grande fue la parte que concedió Duhem, crítico del conocimiento físico, a la actividad del sujeto en la elaboración del saber: pues solamente un sujeto capaz de todas las construcciones operatorias logrará elaborar el dato hasta traducirlo simbólicamente en coordinaciones matemáticas superpuestas a la realidad cualitativa. O, por el contrario, lo captó demasiado bien y, por eso mismo, quería reducir el sujeto al rango de simple fabricante de símbolos: así el nominalismo científico de Duhem se erigía en precaución contra lo que una excesiva actividad del sujeto podría tener de contradictorio con una metafísica hecha de ontología aristotélica. Se podría responder que esto nada tiene que ver con la verdad epistemológica de la doctrina. Sin embargo, si bien Duhem ha tenido el doble mérito de corregir el positivismo de Comte restableciendo el papel del sujeto por un lado y, por el otro, basando sus juicios epistemológicos sobre una información histórica muy amplia y muy precisa (se conocen sus hermosos trabajos sobre *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*), su perspectiva histórico-crítica es, a veces, influida de manera peculiar por su metafísica: ¿acaso no llegó a comparar la termodinámica, cuyo segundo principio indica una tendencia hacia el reposo final, con la teoría peripatética del "lugar propio", interpretando los "movimientos naturales" de Aristóteles como incremento (estadístico y probabilístico) de la entropía, por un avance hacia "un estado de equilibrio ideal, de tal modo que esta causa final es al mismo tiempo su causa eficiente"? (págs. 470-471).

El problema de saber si la elaboración matemática originada por la actividad del sujeto termina en un simple simbolismo está seguramente ligado, como insistiera tanto Duhem, con el pasaje de cualidad a cantidad: en la medida en que la cualidad permanece irreducible a la cantidad, el lenguaje matemático, por cierto, puede ser llamado puramente simbólico, y por eso Duhem insiste tanto sobre esta irreducibilidad recurriendo a la concepción aristotélica (hoy insostenible después de todos los trabajos realizados en matemática cualitativa) de dos "categorías" distintas y sin ver que no existen cualidades sin cantidad y viceversa. En efecto, es sorprendente aceptar que las cualidades conocen las relaciones $>$, $=$ y $<$, sin concluir que conocen también la adición, pues, si $(A < B)$ y $(B < C)$, resulta entonces: $(A < C) = (A < B) + (B < C)$, es decir, la diferencia cualitativa entre A y C es la adición de las diferencias parciales o inter-

medias AB y BC: esto no es una medida, pero sí una adición[16] y, tanto la cantidad como la medida proceden de una composición operatoria de tales operaciones iniciales (vol. I, cap. I, §§ 3 y 6, y cap. II, § 8). Como hemos visto antes (vol. I, cap. I, § 3), la cantidad no es sino la relación de extensión entre los términos calificados, y entre las cantidades intensivas y las extensivas (inclusive métricas) sólo existe la diferencia entre lo lógico y lo matemático: y bien, esta diferencia no depende de la adición conmutativa y asociativa de las partes en un todo, como lo quiere Duhem (porque esta adición ya es constitutiva de la adición lógica), sino de la puesta en relación de las partes entre sí y de la constitución de la unidad en particular.

Ahora bien, al no existir oposición alguna entre la cualidad y la cantidad y sí en cambio una interdependencia estrecha, nada impide que la teoría física se ajuste cada vez mejor a la realidad y presente así un carácter explicativo y no sólo simbólico. Sobre este punto se sostuvo, en la historia de las ideas, el energetismo puro de Duhem, en el momento preciso del renacimiento del atomismo y al comienzo de los trabajos del atomismo experimental. Ya se sabe cuál prevaleció después...

Pero el nominalismo de Duhem encontró en el convencionalismo y en todo el pensamiento de H. Poincaré una expresión mucho más rigurosa y a la vez una refutación de sus exageraciones.

La matemática es ante todo para la física un lenguaje preciso, sostiene con el positivismo Poincaré. Mas un lenguaje es mucho más que un simple simbolismo: es, ante todo, un instrumento de generalización. "Toda verdad particular, evidentemente, puede ser extendida de una infinidad de maneras", dice Poincaré con Duhem, pero "en esta elección ¿quién nos guiará?". "El espíritu matemático, que desdeña la materia para adherirse sólo a la forma pura. Es él el que nos ha enseñado a llamar por el mismo nombre a los entes que sólo difieren por la materia; a llamar por el mismo nombre, por ejemplo, la multiplicación de los cuaterniones y la de los números enteros".[17] Esta alusión a los cuaterniones nos muestra, de entrada, la diferencia entre la generalización puramente lógica, pensada por Duhem (quien critica en particular el uso de cuaterniones y de álgebras complicadas de los ingleses, ¡porque consisten en modelos operatorios!) y la generalización operatoria pensada por Poincaré. "Maxwell logró —dice Poincaré— los progresos conocidos en electrodinámica porque reconoció que las ecuaciones, al ser enfocadas desde un nuevo ángulo, se vuelven más simétricas cuando se les agrega un término; por otra parte, ese término era demasiado pequeño para producir efectos apreciables con los métodos antiguos. Se sabe que las ideas a priori de Maxwell... se adelantaron en veinte años a la experimentación. ¿Cómo se obtuvo este

[16] Aunque la adición de las diferencias $(A < B) + (B < C) +$ etc., no sea conmutativa por derecho (puesto que conserva el orden) lo es sin embargo de hecho; y la adición de intervalos determinados por esas diferencias es conmutativa por derecho y de hecho.

[17] *La valeur de la science*, págs. 142-143.

triunfo? Gracias a que Maxwell estaba profundamente penetrado por el sentimiento de la simetría matemática". Pero también "porque Maxwell estaba habituado a pensar en vectores" y, sin embargo, la introducción de los vectores en el análisis se debe a la teoría de los imaginarios,[18] (es decir, a la extensión de los mecanismos puramente operatorios).[19] Más aún, las mismas ecuaciones vuelven a encontrarse en los dominios más diversos: en tal caso las "teorías parecen imágenes calcadas unas sobre otras; se aclaran mutuamente al prestarse su lenguaje: pregunten a los electricistas si no se felicitan por haber inventado la palabra flujo de fuerza, sugerida por la hidrodinámica y la teoría del calor".[20]

Empero y aunque la generalización proceda comúnmente por composición a la vez espacial y analítica, puede también "renunciar a penetrar en el detalle de la estructura universal" para "extraer conclusiones que permanecerán verdaderas cualesquiera que sean los detalles del mecanismo invisible que las anime"[21]: ella engendrará entonces los principios que sustrae de esta manera aun a las verificaciones de la experimentación. Sólo que, en un cierto nivel de generalidad, si el principio "puede explicarlo todo, no permite entonces prever nada; no nos permite elegir entre las diferentes hipótesis posibles ya que explica todo de antemano. Se ha vuelto inútil".[22]

Aquí es donde aparece el convencionalismo de Poincaré, al mismo tiempo que se esbozan sus límites: los principios generales son en realidad convenciones puesto que están sustraídos precisamente a la verificación experimental. Pero a este respecto Poincaré distingue con claridad tres fases en la evolución de un principio: verdad experimental primero, que se vuelve en segundo lugar proposición general y convencional, para ser finalmente, en una tercera fase, debilitado por la experiencia, pero de un modo indirecto y en cuanto se ha vuelto simplemente inútil.[23]

Sin embargo, esta tercera fase no la percibió de entrada, porque en los comienzos de su carrera ningún hecho llegaba a poner en duda los principios. A consecuencia de varios descubrimientos resonantes —entre ellos el de Michelson y Morley— apareció la duda: fue entonces cuando los físicos se vieron ante la alternativa de salvar los principios o rehacer toda la física. Con una perspicacia que se opone en forma sorprendente a las palabras desilusionadas de Duhem acerca de la incoherencia de las "nuevas teorías", Poincaré entrevió la relatividad y pudo así mantener simultáneamente el carácter convencional de los principios (cuando se tiende a salvarlos a cualquier precio) y la necesidad de cambiarlos cuando dejan de ser útiles para la interpretación de la experiencia: "tenía razón

[18] *Ibíd.*, págs. 144-145.
[19] Véase al respecto vol. I, cap. I, § 10.
[20] *La valeur de la science*, pág. 146.
[21] *Ibíd.*, págs. 175-176.
[22] *Ibíd.*, pág. 193.
[23] *Ibíd.*, págs. 207-209.

antaño y no carezco de ella hoy",[24] decía con encantadora sencillez. En cambio, exagera la continuidad de su pensar y se refuta en realidad a sí mismo cuando se siente obligado a admitir que las "convenciones" concebidas de ese modo no son en verdad arbitrarias, sino bien elegidas en función de las necesidades combinadas de la generalización operatoria y de la experiencia: "Las reglas de juego son convenciones arbitrarias y se podría haber adoptado la convención contraria que *no hubiera sido menos buena.* La Ciencia, en cambio, es una regla de acción que tiene éxito, al menos generalmente, y agrego: *mientras que la regla contraria no habría tenido éxito*".[25] De ahí que autorrefuta el abuso del término "cómodo": la ciencia es una clasificación cómoda, pero "es cierto que lo es no solamente para mí, sino para todos los hombres; es cierto que seguirá siendo cómoda para nuestros descendientes; y, por fin, es cierto que esto no puede ser casual".[26] En definitiva, la comodidad es entonces la adecuación simultánea de los principios a nuestra mente y a las "relaciones entre las cosas".[27] "Recuerdo además que nuestro espacio euclidiano, el objeto propio de la geometría, fue elegido por razones de comodidad entre una cierta cantidad de tipos que preexisten en nuestra mente, llamados grupos." [28] He aquí, definitivamente refutado por el propio Poincaré, ese convencionalismo que poco más tarde aprobara con tanto entusiasmo el neopositivismo de la Escuela de Viena.

5. El neopositivismo y la causalidad según Ph. Frank. El defecto más general del positivismo clásico es, al fin de cuentas, la ausencia de una psicología genética del pensamiento científico. Esta laguna que intentó llenar E. Mach, fundador del positivismo vienés, al relacionar directamente el conocimiento físico con las "sensaciones", sin recurrir a especulaciones sobre lo real y convencido de perfeccionar así la obra de Auguste Comte, incompleta en su programa antimetafísico. Con bastante frecuencia hemos insistido en las insuficiencias de esa explicación del conocimiento por las sensaciones, y en las dificultades inherentes a la actitud de Mach (véase cap. V, § 3) como para no volver aquí más sistemáticamente. En efecto, desde el punto de vista físico, el recurso a las sensaciones termina en el antropomorfismo y hace inexplicable la descentración fundamental que caracteriza todo conocimiento objetivo. Desde el punto de vista psicológico, por otra parte, la sensación por sí sola no constituye en absoluto la fuente del conocimiento, ya que éste está ligado a la acción entera y sólo llega a la descentración propia del pensar científico, gracias a la coordinación de las operaciones nacidas de esa misma acción.

Después de haberse iniciado con una orientación equivocada a causa de una psicología insuficiente, el positivismo vienés remodeló sus posiciones recurriendo a la logística para aquellos puntos en que el psicologismo de

[24] *Ibíd.*, pág. 207.
[25] *Ibíd.*, pág. 217.
[26] *Ibíd.*, pág. 271.
[27] *Ibíd.*
[28] *Ibíd.*, pág. 243.

Mach había errado. Surge así la interpretación de las ciencias de M. Schlick, de R. Carnap y de O. Neurath, desarrollada en matemática por v. Wittgenstein, y en el terreno de la causalidad física, por Ph. Frank. Esta interpretación se llama "unitaria" por basarse en una exclusión radical de toda metafísica y en una absorción de la filosofía por las ciencias. Desde este punto de vista, la ciencia está constituida por el conjunto de las proposiciones que tengan sentido inteligible; la metafísica, al contrario, vuelve a las "proposiciones sin significación".

Lo propio de la concepción "unitaria", particular de los vieneses, reside, por de pronto, en introducir, por una curiosa paradoja, en el corazón mismo de la ciencia un dualismo fundamental. Entre las proposiciones significativas las hay, en efecto, de dos clases irreducibles entre sí: las "proposiciones tautológicas" y las "de alcance real" [29] (pág. 37). Las primeras constituyen simplemente el lenguaje de la ciencia, es decir, la lógica, concebida como una pura "sintaxis" de proposiciones, y la matemática concebida (volumen I, cap. III, § 5) como si no entrañara ninguna construcción real no obstante su apariencia psicológica de invención o de creación. Las proposiciones del segundo grupo constituyen los enunciados de hechos observables y se refieren, por ende, a la experiencia en todas sus formas. El criterio que permite distinguir esas dos clases de proposiciones es fácil de formular en teoría: lo contrario de una proposición tautológica es una sin significación (por ejemplo, lo contrario de $1 + 1 = 2$ es $1 + 1$ no igual a 2, lo que contradice las definiciones admitidas y carece, por lo tanto, de significación), mientras que lo contrario de una proposición de alcance real es otra de alcance real; una de las dos resulta verdadera entonces, y la otra falsa pero con significación (por ejemplo, si "esta mesa es azul" es una proposición verdadera, la proposición "esta mesa no es azul" es falsa, sin carecer de sentido por eso). Empero, por más que esta oposición sea clara *in abstracto*, resulta muy difícil su aplicación en todos los casos concretos, pues, si bien la matemática puede ser enteramente tautológica, la física en cambio no se compone enteramente de proposiciones de alcance real. Según lo mostrara el convencionalismo, apoyado aquí por los teóricos del unitarismo (pág. 49), un gran número de enunciados generales de la física son realmente proposiciones tautológicas. Y bien, "es imposible —y es aquí donde reside la mayor dificultad— reconocer, sólo por medio del texto de una proposición, si ella es tautológica o de alcance real. Para eso hay que tomar en cuenta todo el sistema del que forma parte; es decir, el conjunto de frases que sirven para elucidar el sentido de los símbolos utilizados para formularla" (pág. 36). Es en este trabajo crítico en el que consiste la actividad filosófica, de acuerdo con Schlick.

Dicho esto, conviene buscar a qué se reducen las proposiciones de alcance real, una vez disociadas del simbolismo que las expresa o, más precisamente, una vez liberadas de sus "coordinaciones" con las "proposi-

29 Ph. Frank: *Le principe de la causalité et ses limites.* Flammarion.

ciones tautológicas" que las designan. En lenguaje corriente, esto equivale entonces a determinar el sentido de las proposiciones experimentales aparte de su formulación lógica o matemática. Ese sentido consiste, evidentemente, en referirse a un "dato", pero falta precisar todavía que un dato está siempre relacionado con "proposiciones-comprobaciones" (pág. 50) que convergen entre sí. El "lenguaje físico" o, para ser más precisos, "fisicalista" (ya que se aplica también a la biología y a la psicología experimental que estudia el comportamiento), se refiere necesariamente a proposiciones-comprobaciones susceptibles de cierta uniformidad entre los observadores y referidas a hechos materiales.

El gran problema de la causalidad, para la filosofía "unitaria" de las ciencias, consiste entonces en saber si el nexo causal es de carácter puramente tautológico (como lo afirmó Ph. Frank, sin reserva, en 1907 en cuanto a su forma general, en un escrito que él mismo calificó después de demasiado exclusivo), si se refiere a proposiciones de alcance real o también si participa de ambas. A esta discusión se dedica Ph. Frank con admirable precisión al atenuar la posición demasiado dogmática que había tomado en los comienzos de sus investigaciones.

Según Schlick, la causalidad consiste, conforme a la tradición positivista, en una posibilidad de prever los fenómenos (pág. 47). ¿Pero cuál es la significación concreta de tal formulación? E. Zilsel divide las leyes físicas en dos grupos: las que no hacen intervenir la sucesión temporal (por ejemplo, la ley de Mariotte, que es una ley de equilibrio) y las que expresan modificaciones en función del tiempo (por ejemplo, las ecuaciones de Fourier referentes a la conductibilidad térmica). Estas últimas son las que Frank llama "leyes causales" o de las que dice que tienen una "forma causal" (pág. 144). Mas se trata entonces de precisar cómo se establece esa sucesión temporal y sobre qué se basa la previsión de los estados ulteriores. Las dos suponen, desde luego, cierta repetición de los fenómenos. "Diremos, por ende, que el principio de causalidad afirma que todos los fenómenos del mundo pueden ser enfocados como elementos de procesos cíclicos parciales" (pág. 190) y decimos parciales, porque jamás hay retorno a estados exactamente idénticos, debido al hecho de que se intercalan estados nuevos entre los iniciales y los ulteriores, y también porque los estados iniciales (formados por una inmovilidad relativa o por movimientos, pág. 145) no se vuelven a encontrar jamás con exactitud. El concepto mismo de retorno es erróneo (págs. 191-194), pues, "hay múltiples maneras de concebir el retorno del mismo estado, lo que no impide la posibilidad de prever siempre el porvenir. Resulta entonces que esta previsión tiene los caracteres más diversos según cómo se conciba ese retorno" (pág. 195). ¿Se dirá entonces que la causalidad se limita a afirmar la existencia de leyes, lo que evitaría "introducir el concepto un poco artificial de repetición" (pág. 206)? Sin embargo, o bien se hace referencia a una inteligencia superior que abarque todo el universo, o bien hace falta precisar todas esas leyes en forma muy determinada, lo que resulta incómodo en ambos casos. "Las dos únicas alternativas son, por ende, sea la de fundar el principio de causalidad sobre el retorno al mismo

estado, con una significación bastante vaga, ya que en la práctica jamás se vuelve a los mismos fenómenos, sea la de basarse en la existencia de leyes y aun en ese caso no es nada fácil precisar lo que esto significa; pues en sí misma, la afirmación de que existen leyes no tiene gran alcance en lo que concierne al mundo real. En resumen, la pretendida ley de hierro de la causalidad delimita esos fenómenos sólo en forma muy vaga" (pág. 201).

¿De dónde proviene entonces el prestigio de la causalidad? Porque constituye, en buena parte, un principio tautológico. Al reconocer que el retorno al mismo estado se debe al hecho de que dicho estado es seguido por las mismas consecuencias, "en estas condiciones, el principio de causalidad no es sino una definición de la identidad de dos estados" (pág. 202).

Sin embargo, para asegurar al principio de causalidad un alcance real es necesario hacer corresponder las magnitudes de los estados contenidas en las ecuaciones a datos observables. Aquí, empero, es donde empiezan las dificultades. Primero la cantidad de magnitudes de estados debe ser restringida; si no, la causalidad se vuelve inaplicable (pág. 203). Mas, si el número de magnitudes es restringido "nos encontramos frente a un enunciado acerca del mundo real, que resulta indeterminado" (pág. 204). Además, se trata de encontrar, ante todo, reglas de coordinación entre esas magnitudes que intervienen en las ecuaciones, es decir en las proposiciones tautológicas (por ser matemáticas) y en los hechos observables. "En fin, si no hay reglas de coordinación conocidas, el principio de causalidad se vuelve una tautología y las leyes causales particulares se convierten en simples definiciones de magnitudes de estados: nada agregan acerca del mundo real" (pág. 186). "En la mecánica ondulatoria moderna es donde la dificultad se ha revelado en toda su amplitud" (pág. 187); de ahí surgen las "cuestiones de interpretación" en microfísica, que están relacionadas precisamente con esa coordinación entre los observables y las magnitudes de estados. Aunque esa coordinación es relativamente fácil en ciertos casos comunes (aceptando siempre, no obstante, cierta indeterminación ocasionada por la imprecisión forzosa de los experimentos), es en cambio muy difícil en los dominios de observación muy grandes (relatividad en escala astronómica) y muy pequeños (escala atómica). "En general no es posible entonces coordinar con cualquier magnitud que figura en una ecuación, un dato inmediato bien determinado o un resultado de observación; hace falta haber solucionado todo el problema de antemano. Se comprende entonces que las ecuaciones del físico han perdido por ese hecho su valor causal, al menos en el sentido en que se pensaba antes. Esas leyes ya no asocian magnitudes directamente observables, sino magnitudes que sólo después de una cierta elaboración pueden ser comparadas con magnitudes observables" (pág. 210). Abreviando, la causalidad supone siempre una "interpretación" (pág. 212) y por consiguiente "si nos preguntáramos si el principio de causalidad es verdaderamente una ley de la naturaleza, aun examinando la cuestión en todas sus facetas, terminaríamos siempre por concluir que es imposible dar una respuesta ni positiva ni negativa" (pág. 213).

Para eliminar la contradicción aparente entre esta ausencia de todo

"argumento a favor o en contra de la validez del principio de causalidad como ley natural" (pág. 217) y el hecho de que nuestra ciencia y la vida práctica implican su aplicación continua, se supone en general la existencia de un mundo "verdadero" oculto detrás de los fenómenos y que sería el verdadero soporte de la causalidad. Pero nada es más equívoco que esa hipótesis de un "real" postulado detrás de la apariencia: "La distinción entre «real» y «aparente» consiste... siempre en una de las dos posibilidades: o bien en la diferencia entre la visión superficial de un dato experimental y una descripción detallada de éste (en tal caso es la descripción detallada la que se dice corresponder a la realidad); o bien se designa también como «real» un esquema matemático del que se pueden deducir con gran exactitud resultados experimentales. Asimismo los dos conceptos están tan ligados que el esquema matemático es a menudo el resumen más preciso de los datos experimentales que de él se pueden deducir" (pág. 221). En resumen, "la construcción de un mundo llamado «real», «verdadero», «físico», «objetivo» o «espacio-temporal», es sólo un ordenamiento de los datos de nuestra experiencia según un esquema" (pág. 225). ¿Podría, sin embargo, concebirse lo real como el límite hacia el cual converge una serie de teorías cada vez más exactas? De nuevo hay que ponerse de acuerdo. El límite en cuestión no es otra cosa ni más ni menos que los hechos cada vez mejor observados y volvemos a una de las dos posibilidades mencionadas antes. En cuanto a las teorías mismas, se suceden sin orden y sin que alguna pueda pretender ser la definitiva (págs. 233-234). De las aproximaciones sucesivas de la experiencia no se podría extraer ningún argumento en favor del realismo (pág. 234). La microfísica no ha agregado nada nuevo al respecto; sólo sitúa las dispersiones estadísticas en el punto de partida de sus consideraciones, en lugar de atribuirlas a las insuficiencias de la teoría. Es absurdo entonces extraer conclusiones metafísicas de la física atómica (pág. 278) cuando ésta simplemente confirma la mezcla de indeterminación real y de tautología que caracteriza la causalidad en general.

Tales son, a grandes rasgos, las ideas de los neopositivistas y de Ph. Frank acerca de la causalidad. Se ve enseguida su gran interés debido esencialmente a la intención de no dejarse engañar por palabra o concepto alguno. Este método de epistemología "unitaria" constituye su fuerza contra toda metafísica. Sólo cabría aprobar ese ideal crítico en su doble exigencia de precisión axiomática y de conformidad con los datos experimentales. La única reserva en cuanto a método que convendría hacer sin duda consistiría en no extrapolar en lo que se refiere al porvenir y en distinguir entre las verdaderas "proposiciones sin significación", contradictorias con las definiciones admitidas, y lo que llamaríamos "proposiciones sin significación actual", resultantes del uso de conceptos mal definidos o mal elaborados como aquellos de los que abusa la filosofía de escuela.

Empero, reconocido este acuerdo en cuanto a fines comunes con la epistemología genética, queda por preguntarse si el neopositivismo unitarista no se encierra en una especie de callejón sin salida, por no recurrir

suficientemente a la psicología y esto ocurre a pesar de los enfoques proféticos pero incompletos de E. Mach. La epistemología unitaria, en efecto, enfoca la lógica y la matemática como si ellas no dependieran de génesis alguna: simple "sintaxis" tautológica, están fuera de lo real con su única función de "designarlo". En cuanto a lo real en sí, es decir, el conjunto de las "proposiciones de alcance real", éste se reduce en último análisis al polvo atómico de las "proposiciones-comprobaciones", que se refieren a las meras sensaciones. No es de extrañar entonces que el problema de la coordinación entre las proposiciones lógico-matemáticas y los hechos observables constituye el punto endeble de la doctrina: ésta empieza por cortar todas las amarras entre la "sintaxis" tautológica y la experiencia y ¡luego se pregunta cómo restablecerlas!

Sin hacer ninguna especulación sobre una "realidad" en sí, oculta detrás de los fenómenos, y sin salir de lo concreto más allá del lenguaje y de la sensación, no deja de ser cierto que el hombre de ciencia no es un ente fijo cuyas funciones mentales se reduzcan al ejercicio de la palabra y de los órganos sensoriales, sino que está obligado a ejercer una acción sobre los objetos para experimentar. El vincular las sensaciones con acciones precisas, con las que aquéllas son solidarias, no es contrario a los hechos observables, sino conforme a todo lo que sabemos acerca del comportamiento: las proposiciones-comprobaciones están referidas siempre a acciones y no solamente a sensaciones; porque decir "esto es resistente", "esto es pesado", "esto es rectilíneo" o aun "esto es rojo" equivale a describir comportamientos y no sólo percepciones, o mejor dicho, esas percepciones son aspectos o partes de conductas o de acciones. Por otra parte, si la lógica y la matemática constituyen en verdad y a partir de cierto nivel, una "sintaxis" formal de las proposiciones, es decir una coordinación de los conceptos y de las relaciones, entonces son ante todo una sintaxis, o sea una coordinación de las propias acciones. Por consiguiente, para relacionar la sintaxis lógico-matemática con la experiencia, no es indispensable tratar de conciliar sin intermediarios el formalismo proposicional con la diversidad sensorial: ¡es suficiente preguntarse qué relación existe entre la coordinación de las acciones y las acciones particulares coordinadas de este modo!

En una palabra, es necesario pues introducir las operaciones del sujeto entre su lenguaje y la experiencia, si se quiere poder cerrar el circuito del conocimiento. Pero entonces el problema que se plantea reside en saber si se pueden reducir esas operaciones a la tautología pura: esa cuestión (discutida ya en vol. I, cap. III, § 5) vuelve a aparecer con una particular agudeza en el campo de la causalidad, y corresponde a Ph. Frank el gran mérito de haberla planteado en términos tan claros. Los análisis sutiles de este autor lo llevan a mostrar, en efecto, que la causalidad no es ni un puro hecho de experiencia, ni (cuando no es muy general) un puro nexo deductivo, pero que participa necesariamente de ambos: la imposibilidad de un retorno al estado inicial sin elaboración deductiva, la dificultad de hacer corresponder los observables a las magnitudes de estados de las ecuaciones, el carácter relativamente indeterminado de las secuencias particu-

lares y el carácter puramente deductivo de los enunciados demasiado generales, el equívoco de las leyes postuladas cuando son conocidas de un modo incompleto y, sobre todo, el hecho de que lo "real" descubierto por aproximaciones sucesivas se reduce simultáneamente a una mejor observación de los datos y a un esquema matemático, todo esto muestra hasta la evidencia y con una argumentación realmente nueva, el carácter mixto de la causalidad, extraña relación que permanece constantemente a mitad de camino entre lo deductivo puro y la sucesión temporal. Pero entonces ¿puede acaso considerarse al mismo tiempo la causalidad como garantía del acierto, lo real como diverso, y la deducción como tautológica? Para que la causalidad tenga éxito (y se supone que la de Frank alcanza la meta, contrariamente al divorcio epistemológico admitido por Meyerson entre lo idéntico y lo real), hace falta, según parece, o que la experiencia sea tautológica como la deducción, o que la deducción sea no tautológica como la experiencia; existe, en efecto, una contradicción fundamental en querer "coordinar" datos experimentales esencialmente múltiples con ecuaciones matemáticas esencialmente tautológicas: o bien la "coordinación" es ilusoria, o también las relaciones matemáticas son múltiples. Para suprimir esta contradicción, y admitiendo que la causalidad tiene éxito, es decir, que autoriza la previsión, Ph. Frank se ve obligado a restringirla hasta hacer de ella una simple definición de las magnitudes de estados: la causalidad se convierte así en lo que permite incorporar los hechos observables en las ecuaciones, y por esto es imposible, según este autor, saber si el principio de causalidad pertenece a las leyes de la naturaleza o a las de la sintaxis lógico-matemática, puesto que tal principio se limita a asegurar su conexión. Sólo la contradicción, apartada del dominio de las magnitudes de estados (cada una de las cuales, expresada por un número, puede entrar en una ecuación, es decir en una igualdad tautológica, por así decirlo, entre dichos números), vuelve a aparecer en el dominio de los cambios de estados: para "prever" los fenómenos (lo que significa —no lo olvidemos— reproducirlos, y por ende producirlos en pensamiento o en acción) no es suficiente creer en el retorno aproximado de los mismos estados; pero hay que contar con la regularidad de los cambios de estados. Ahora bien, dichos cambios no corresponden más en nuestras ecuaciones a simples números o valores estáticos, sino a transformaciones lógico-matemáticas, es decir, a operaciones. Si éstas son tautológicas ¿cómo coordinar con ellas entonces los cambios de estados?

En cambio, si se admite que las operaciones constituyen una coordinación no tautológica de las acciones y de las proposiciones, y que lo dado sensorial de la experiencia está referido también a acciones, el análisis neopositivista de la causalidad adquiere un alcance evidente: la causalidad es la incorporación de las magnitudes y de los cambios de estados en el sistema de transformaciones operatorias capaces de permitir su reproducción; la repetición probable de las secuencias naturales es entonces una garantía para la producción necesaria de las consecuencias formales.

Pero si por falta de un análisis genético, el neopositivismo ha quedado a mitad de camino de esta "coordinación" entre la experiencia real y las

estructuras lógico-matemáticas del sujeto, no deja de ser cierto que, si se parte con Auguste Comte de una exclusión del concepto de causalidad y de una concepción incompleta de la generalización, el positivismo arriba con Ph. Frank a un concepto esencialmente deductivo de la causalidad, como también a una crítica de los conceptos de previsión, de ley natural y de dato experimental. La deducción lógico-matemática situada nuevamente en el centro de la doctrina y hasta reducida a la identidad pura ¿será capaz de atenuar el antagonismo entre el positivismo y esa otra concepción de la causalidad basada sobre la deducción y sobre la identidad en el tiempo, que es la teoría antipositivista de E. Meyerson?

6. La causalidad según E. Meyerson. La doctrina cuya discusión abordamos está centrada sobre la refutación del positivismo y sobre la distinción sistemática de la causa y de la ley. No ha de extrañar entonces que volvamos al tema después de haber hecho tantas veces alusión a él; pero al reencontrarnos con él, no lo examinaremos desde luego en su conjunto y nos limitaremos a considerar el problema en sí de la causa y de la ley.

Lo que Meyerson reprocha esencialmente al positivismo es haber desconocido la necesidad de explicar, propia de toda ciencia. En sus formas más diversas el pensamiento científico no se conforma sólo con prever: quiere comprender, y en cuanto un hecho o una relación general son descubiertos, un poderoso instinto causal lo impulsa a tornar este hecho o esta ley, inteligibles para la razón. El positivismo es contrario por lo tanto a todo lo que nos enseña no solamente la historia de las ciencias, sino también el espectáculo de la ciencia contemporánea, al sostener que la ciencia desprecia por principio el "modo de producción" de los fenómenos. Aun los sabios más fieles al positivismo, los prefacios de cuyas obras contienen declaraciones de la más pura ortodoxia comteana, al enfrentarse con la experiencia y con su interpretación matemática, no hacen otra cosa sino tratar de comprender, es decir, de explicar causalmente.

¿En qué consiste entonces la idea de causa? No se confunde en absoluto con la de ley. La ley no es sino una comprobación generalizada, una extensión del hecho. No hay duda de que ya está elaborada por la razón, puesto que resulta de una generalización (lo que significa, para Meyerson, de una identificación), pero esta elaboración por sí misma no suministra explicación alguna. Esta comienza con la deducción de la ley, y el secreto de la causalidad debe buscarse por ende en el mecanismo de la deducción. Pero cabe aclarar aquí algunos puntos: la deducción explicativa no consiste meramente en insertar leyes particulares en leyes más generales, con lo que sólo se extendería el dominio de lo "legal". La deducción explica en la medida en que identifica el efecto con la causa y en que esa identificación prende en la realidad misma.

La causa es pues la identidad en el tiempo, y de esa identificación, aplicada a los procesos temporales y reales, resultan dos consecuencias importantes. La primera es que la ciencia es ontológica en esencia y siempre

postula, a pesar de los desmentidos positivistas, el concepto de "cosa" o de realidad exterior al sujeto. No cabe duda de que la realidad construida por la deducción científica es cada vez más alejada de la del sentido común: no por ello deja de ser exterior al "yo". En segundo lugar, y por consiguiente, los esquemas explicativos como el atomismo, los modelos mecánicos, etc., no constituyen simples hipótesis figurativas, sino que forman parte integrante de la educción explicativa puesto que por sí solos permiten reducir los efectos a causas que les son idénticas, en todo o en parte, y que por sí solos inducen a imaginar las "cosas" a las cuales la deducción causal reduce lo real.

Pero, aunque siempre más depurada, la realidad resiste al esfuerzo permanente de identificación. De ahí surge lo irracional que la ciencia trata de disminuir constantemente y por todos los medios, pero que reaparece no obstante inevitablemente en forma de lo diverso opuesto a lo idéntico. La deducción explicativa será por ende esencialmente espacial, porque el espacio es la expresión de lo real, la más adecuada a la vez para favorecer la figuración de las causas y para permitir la identificación *máxima*, reduciendo lo diverso a ese *mínimo* que constituyen el simple cambio de posición y la multiplicidad de las figuras. Pero la explicación espacial no es por sí misma sino un ideal, y muchas cualidades físicas resisten a esa espacialización.

Señalemos primero que si bien Meyerson, en lo que se refiere a la necesidad de explicar, tiene razón evidentemente al subrayar el contraste entre la exigencia de comprensión, común a todas las ciencias, y la concepción positivista de la causalidad concebida como pura previsión, empero la distancia que separa a este autor del neopositivismo disminuye notablemente cuando se comparan sus tesis con las de Ph. Frank. La exigencia fundamental de Meyerson consiste, en efecto, en la deducción de las leyes, fundada sobre la identificación de lo diverso en el tiempo. Ahora bien, lo que caracteriza la teoría de Frank es el hecho de reducir la causalidad a un esquema lógico-matemático de carácter tautológico, es decir, basado sobre la identidad, pero aplicado a los datos experimentales, o sea a las propias secuencias temporales. Meyerson se ha opuesto por cierto a la interpretación tautológica de la matemática, pues para él la identificación nunca se logra en forma completa. No es otra cosa lo que dice Frank en el terreno de la causalidad, al hablar de los retornos incompletos al estado inicial, que presuponen una elaboración deductiva cada vez más avanzada pero que chocan con las indeterminaciones de lo real. La diferencia ¿consistirá acaso en el hecho de que la identificación meyersoniana se refiere a la reducción del efecto a la causa? Pero lo que Frank denomina "previsión" es una traducción de lo real en ecuaciones o "leyes causales" cuyo carácter de identidad lógica es admitido por él.[30] ¿Estará en el

30 A este respecto es sorprendente comprobar que el concepto de "previsión", con que el positivismo sustituye al de causalidad, retoma precisamente en Frank el sentido de identidad lógica aplicada a lo real.

carácter geométrico de la deducción? Pero Meyerson deja un sitio para los esquemas analíticos y Frank reserva uno por su parte a las teorías geométricas: hay en eso sólo un asunto de proporción... ¿Estará en "la realidad" de los átomos? Pero hoy cada uno se une a ello.

Y sin embargo, a pesar de esa afinidad manifiesta, el acento de las dos doctrinas es enteramente diferente. Se debe seguramente a la ontología que Meyerson atribuye a la ciencia, mientras que Frank desconfía de todo postulado realista. Sólo que también aquí, si se comparan mejor los textos, se tendrá más bien la impresión de un conflicto de temperamentos —la oposición del teórico de la física matemática y del teórico de la química— que de una contradicción fundamental. Cuando Meyerson confiesa que la realidad es transformada constantemente por el conocimiento y que el "objeto" resulta en buena parte de las "hipóstasis" de la razón lógico-matemática, ¿dice realmente lo contrario de lo que sostiene Frank, cuando éste reduce la diferencia entre lo "aparente" y lo "verdadero" al "ordenamiento de los datos de nuestra experiencia según un esquema lógico o matemático"? "Hipóstasis" o "esquema" son dos imágenes que revelan un antagonismo evidente, si no es en la metafísica, al menos en la lógica de los que la emplean (y por cierto Meyerson es indulgente en cuanto al sustancialismo aristotélico que la logística nominalista de Frank persigue sin piedad), pero sólo se trata de imágenes: ambos autores concuerdan al pensar que lo real es a la vez deducido y comprobado y que es difícil trazar una línea de demarcación entre esos factores; esto incluso es tan difícil, según ambos, que el realismo de Meyerson atribuye la causalidad a una identidad mientras que el positivismo de Frank se limita a atribuir la causalidad a una identidad introducida por la deducción en una realidad de la que jamás se sabrá si opone resistencia o está de acuerdo! Pero si bien difieren por su temperamento, su lenguaje y las imágenes que emplean, no por eso dejamos de rozar aquí el punto central, que es el papel que ellos reservan a los esquemas intuitivos. Meyerson asigna una importancia fundamental a las representaciones concretas y figuradas en el pensamiento del científico que trata de comprender, mientras que Frank piensa como un analista abstracto y un logístico. El carácter "explicativo" de la causalidad concebida como una deducción identificadora, o su carácter de simple previsibilidad ¿se debería meramente al hecho de que, para el realismo sustancialista de Meyerson (haciendo la salvedad esencial de que las ontologías son disueltas y reconstruidas constantemente por el pensamiento), el científico experimenta la necesidad de "imaginar" lo real, mientras que para el antirrealismo de Frank la imaginación aparece como moneda falsa junto al saber matemático-experimental?

A pesar del carácter aparentemente secundario de esa cuestión, ella es no obstante esencial en la discusión de las relaciones entre la causa y la ley. Hemos visto que ni Auguste Comte ni Ph. Frank creen en el carácter explicativo del concepto de causa, por la existencia de una laguna que es común a ambas doctrinas: lo que Comte denomina la coordinación de las leyes y lo que Frank llama deducción tautológica de las magnitudes de estados culminan, en uno y en el otro caso, en una idea insufi-

ciente de causalidad, por falta de una generalización operatoria que pueda asimilar las modificaciones de lo real a las transformaciones deducidas de los sistemas de operaciones involucrados; pero si se restablece la función de la construcción operatoria, la deducción de las leyes será suficiente para asegurar su explicación, recurriendo solamente a esas leyes y al mecanismo deductivo. La doctrina de Meyerson, en cambio, para remediar la insuficiencia de una deducción de leyes, concebida sobre un simple modelo analítico o tautológico, admite la existencia de causas distintas de esas leyes y hace que la identificación opere ya no solamente sobre las leyes, sino sobre los esquemas representativos que corresponden a las causas. Ahora bien, como acabamos de comprobarlo, la intervención de esos esquemas representativos constituye en realidad la única diferencia entre doctrinas tan disímiles en apariencia como las de Frank y Meyerson: de aquí surgen los dos problemas que se trata de discutir: ¿cuál es el papel que desempeñan tales esquemas? Y si tienden a desaparecer ¿en qué se convierten entonces la relación entre la causa y la ley, y la reducción de las causas a la identificación pura?

El decir que la causalidad consiste en una deducción, y en una deducción geométrica en particular, puede comprenderse en efecto en dos sentidos muy diferentes, según que se haga referencia a la intuición espacial o que se piense únicamente en relaciones geométricas u otras, pero siempre abstractas y teóricas, y cuyo valor de conocimiento permanece independiente de toda representación. La ciencia empero, como el sentido común, recurren siempre en un nivel determinado a las intuiciones propiamente dichas, para representarse las "cosas", ya sean éstas perceptibles o simplemente imaginadas en tanto ocultas bajo la apariencia. Esto es indiscutible y E. Meyerson tuvo aquí todas las ventajas de su lado contra el positivismo. Pero no deja de ser menos cierto que la abundancia de las imágenes corresponde a una etapa incoativa del conocimiento, comparable con lo que son todas las etapas preoperatorias o concretas con respecto a la formalización que las sigue. La imagen es meramente un símbolo, y el conocimiento se inicia cuando, con la ayuda de tales símbolos, el sujeto llega a deducir las leyes agrupándolas en sistemas de transformaciones. Desde luego esos sistemas satisfacen más cuando son acompañados por imágenes o modelos, pues el científico no siempre es espíritu puro; mas cuando el esquema de transformaciones se vuelve irrepresentable como en microfísica o en escalas de observación demasiado grandes, se prescinde de toda representación sin dejar con todo de comprender y explicar. La evolución de la idea de corpúsculo, desde el atomismo griego hasta el momento en que, en las teorías contemporáneas, el microobjeto se reduce —cuando no se desvanece instantáneamente en una onda— a un simple punto de localización de sus efectos, es un magnífico ejemplo de la eliminación gradual de las imágenes en favor de las relaciones puras, es decir, de las leyes en sí.

Si las cosas ocurren así, ¿dónde debe situarse la causa con respecto a las leyes? Todo conocimiento se reduce a relaciones, y las "cosas", los "objetos" o las "sustancias" no son sino haces de relaciones cuyos términos nunca se pueden aislar. Sólo existen por ende leyes, y la causa no inter-

viene fuera o al lado de esas leyes, como los músculos al lado del esqueleto. sino únicamente en la coordinación de esas leyes entre sí, en tanto esa coordinación adquiere un carácter necesario. Por ejemplo, una ecuación química tal que $H_2 + O = H_2O$ es una ley. Su causa ¿será la representación de los átomos H, H y O como también la representación de las acciones, que determina las afinidades y el equilibrio de la combinación de aquéllos? No cabe duda; pero esas representaciones, una vez liberadas de su simbolismo figurado, se reducen nuevamente a leyes; hoy se conoce la complejidad de esas leyes y su naturaleza refractaria a todo esquema representable. Ocurre a menudo que la imagen sirva para el descubrimiento de las leyes, como la intuición matemática sirve para la invención de nuevos entes abstractos, pero aun entonces las leyes priman tarde o temprano sobre la representación en imágenes; la causa consiste exclusivamente en su coordinación necesaria.

Resumiendo, el admitir que la causa consiste en una deducción de la ley no significa en absoluto que se salga del dominio de las leyes, pues dicha deducción sólo relaciona leyes y sólo formula nuevas leyes; la deducción de las leyes significa propiamente su composición recíproca. La dualidad entre la causa y la ley expresa simplemente el hecho de que el conjunto de las leyes que sirve para explicar una ley determinada no se encuentra en el mismo plano de ésta, justamente porque aquél es un conjunto, y sólo el sistema total en sí puede explicar las leyes particulares que lo integran. No cabe duda de que la composición de ese sistema total engloba a la identidad, pero en completa solidaridad con las leyes mismas de transformación, puesto que es el conjunto del sistema operatorio formado de este modo el que posee como tal el poder explicativo originado por sus conexiones necesarias.

Mas ¿a qué tipo de necesidad se hace referencia cuando se define la causa por la deducción de las leyes (sobre lo que convergen hoy en día todas las opiniones)? En primer lugar los datos suministrados por la experiencia en calidad de sucesión regular y que constituyen así la fuente intuitiva de cada ley, son desde el principio y de un modo creciente asimilados a operaciones lógico-matemáticas. Esta elaboración es la que Frank denomina coordinación de los datos y de las proposiciones tautológicas y que Meyerson designa con el nombre de conceptualización identificadora. Ahora bien, esa primera elaboración introduce ya cierto vínculo de necesidad entre la causa y el efecto, vínculo aún débil pero existente, en forma de una equivalencia entre los dos miembros de la ecuación que expresa la ley. Empero, en la medida en que la experiencia es la que suministra los datos que se han vuelto equivalentes por un principio de deducción, una relación legal aislada es sólo necesaria en forma incompleta. De aquí surge la segunda etapa durante la cual la causa se diferencia de la ley como sistema que se diferencia de sus elementos: aunque una ley por sí misma no es necesaria puesto que resulta simplemente de una elaboración de comprobaciones más o menos regulares, la coordinación deductiva, en cambio, de dos o varias leyes, introduce un elemento más en la dirección de la necesidad lógica o matemática. Es, empero, ese carácter necesario de un

conjunto de relaciones legales el que responde a la necesidad de explicación. Mas, ¿en qué consiste? Si suponemos que la deducción generalizadora equivale, como lo postula Comte, a insertar leyes especiales en leyes más generales con la salvedad de que lo general se detiene en las fronteras de los dominios cualitativos heterogéneos, no agregamos mucho a la pura legalidad inicial: ganamos en "economía", como lo dijo Mach posteriormente, y en simplicidad, etc., pero la necesidad sigue dependiendo de la contingencia específica del contenido de las leyes más "generales". Si, en cambio, la deducción consiste esencialmente en identificación, como lo postulan a la vez Meyerson y Frank (sin tomar en cuenta las representaciones figuradas), tenemos en favor el hecho de que la generalización misma descansa entonces sobre un vínculo intrínseco de necesidad, asegurado no por una simple inserción incompleta, sino por la secuencia de identidades entre los miembros de las ecuaciones sucesivas. Aquí se da nuevamente la alternativa: o el elemento concebido como idéntico tiene carácter representativo, es decir que constituye una "cosa" imaginada como si trascendiera las relaciones lógico-matemáticas que permiten definirla, y entonces volvemos a caer en las dificultades del esquema figurado en imágenes que simboliza (y de un modo falaz a veces), pero que no constituye el conocimiento, formado exclusivamente por relaciones; o la identidad permanece formal y se limita a igualar entre sí las magnitudes que intervienen en las relaciones legales; pero, en este caso, la necesidad debe situarse por entero del lado del sujeto, y el objeto se le escapa en la medida en que es diverso, a menos que sea transformado en un "esquema" lógico y matemático (Frank) o en una "hipóstasis" (Meyerson), es decir, en ambos casos, una proyección del sujeto en la realidad.

La cuestión consiste en saber si, como lo sostienen Meyerson y Frank, la deducción es necesariamente identificación. ¡En Frank esta dificultad desemboca en la dificultad inextricable de que la causalidad constituye a la vez un esquema tautológico y el motor de toda la investigación experimental! En Meyerson llega a otra dificultad no menos inextricable (por ser ésta traducida de un modo diferente) de que la causalidad explica exclusivamente aquello que, en el efecto, permanece idéntico a la causa: el elemento de novedad —¡que constituye empero el problema mismo desde el punto de vista de la explicación causal!— permanece necesariamente inexplicable de hecho e inexplicable por derecho...

Antes de admitir semejantes resultados y de llegar a la conclusión de que la razón humana está para siempre condenada a la impotencia, conviene sin duda preguntarse por qué razones el positivismo de Frank y el antipositivismo de Meyerson han desdeñado la existencia de las operaciones y el carácter de composición constructiva de la deducción operatoria. Puede darse la explicación común de que ambos autores se han visto impedidos, tanto uno como otro, de seguir esa vía por su realismo, aunque ese realismo no sea de la misma clase: el realismo logístico de Frank lo condena, en efecto, a negar la realidad de las operaciones, del mismo modo que el realismo ontológico o representativo de Meyerson lo obliga a asignar a la propia realidad lo que es fecundo en la construcción operacional

(vol. I, cap. III, §§ 4 y 5). La respuesta común será la de recurrir al análisis genético que disuelve tanto el realismo de los conceptos como el de las cosas en favor del desarrollo operacional.

Desde ese punto de vista, tanto la importancia asignada a los esquemas representativos, como la reducción de la deducción explicativa a la identificación pura, se enfrentan con las objeciones esenciales de que tales esquemas corresponden a un nivel preoperatorio o simbolizan meras operaciones concretas, y que la identidad constituye solamente uno de los elementos de las transformaciones operatorias: aquel que se define por las "operaciones idénticas" en oposición con el resto de la composición en sí. La causalidad podría "explicar", sólo basándose sobre la composición operatoria entera, la única capaz de dar la razón de las variaciones y de los invariantes, haciéndolos ambos necesarios unos en función de los otros. Poniendo en correspondencia las modificaciones de la realidad temporal, suministrada por la experiencia pese a una indeterminación más o menos apreciable, con las transformaciones que intervienen en los sistemas operatorios que caracterizan la deducción como tal, la causalidad reúne en un todo único la necesidad que emana de esa deducción y la sucesión en el tiempo suministrada por la experiencia: de aquí resulta una mezcla sui géneris de conexión necesaria —en las variaciones como en los invariantes— y de indeterminación relativa, que interviene en toda relación causal y que atestigua la indisociable unión entre la actividad operatoria del sujeto y las características del objeto.

7. La causalidad según L. Brunschvicg. Nadie mejor que L. Brunschvicg ha sentido la necesidad de tal unión y los peligros a los que se expone la investigación epistemológica en cuanto se rompe este vínculo en favor de uno de sus dos términos. Su pensamiento sutil ha conocido la desgracia o el privilegio de ser interpretado dentro de los marcos más contradictorios. Clasificado tan pronto entre los positivistas (por D. Parodi) o los idealistas, los hiperracionalistas o los irracionalistas, según que se descubriera en él su respeto por el hecho experimental o su aversión por el sustancialismo, su matematismo o su rechazo de todo panlogismo, es inclasificable felizmente porque encarna en esencia el método histórico-crítico, apto para seguir las etapas de todos los desarrollos y que se identifica con cada una de ellas para dibujar luego la curva de conjunto sin olvidar sus meandros.

Para captar lo que es la causalidad física,[81] Brunschvicg esboza simplemente su historia. Se le ha reprochado a veces el no definir a ese respecto ni lo que es la realidad, ni lo que es la razón, ni siquiera lo que es la causalidad. Pero toda la obra de su relativismo crítico está dirigida justamente contra la pretensión de una fórmula fija. No existe una realidad, una razón, una causalidad en las que sea posible instalarse como si fueran

[81] *L'expérience humaine et la causalité physique*. París, Alcan, 1922. XVI, pág. 625.

independientes del devenir intelectual. Por el contrario, esos términos varían en cada nueva etapa, y para alcanzar la estructura de sus relaciones recíprocas hay que hacer precisamente un desvío: el estudio de las formas de equilibrio instantáneas que no han dejado ni dejan de sucederse en el correr de una historia ininterrumpida.

Una posición inestable, como se ve, y que oscila entre los dos escollos del dogmatismo de la experiencia pura y del de una razón pura. Brunschvicg comienza por descartar la ilusión empirista según la cual la causalidad podría ser revelada por una experiencia inmersa directamente en una realidad ya constituida: "El universo de la experiencia inmediata no contiene *más* de lo que era requerido por la ciencia, sino *menos*" (pág. 73). Pero tampoco existe una noción a priori de la causalidad: la causalidad kantiana permanece como forma vacía, mientras que la intuición empírica no le suministra contenido, y la historia nos muestra cuán indisociables aparecen las relaciones entre el contenido y la forma en la oportunidad de cualquier exploración en un nuevo campo experimental.

La conclusión de la extensa encuesta histórica de Brunschvicg puede resumirse como sigue. El espacio no podría tomarse como objeto de intuición ni en las cosas ni ante las cosas: es el resultado de una actividad coordinadora tal que el concebir el espacio y atribuirle propiedades constituyen un mismo y único acto. Por otra parte "no existe tiempo antes de los acontecimientos: la existencia del tiempo no es sino su contextura basada sobre las relaciones causales que el pensamiento establece entre los acontecimientos" (pág. 512). Pero a su vez las leyes causales se apoyan en el tiempo y en el espacio en el sentido de que es imposible hipostasiarlas, concebirlas independientemente de su aplicación a tal caso particular o a tal momento determinado. Hay un *hic* y un *nunc* fuera de los cuales la actividad intelectual pierde todo enlace con la realidad: el determinismo está en el proceso del "devenir" y sólo tiene realidad en virtud de las rectificaciones indefinidamente nuevas que nos permiten construir el sistema de las relaciones causales. De tal modo que ninguna fórmula podrá dar cuenta definitivamente de la causalidad, so pena de aislar la causa de la consecuencia y de convertirla en una fuerza ininteligible; la única expresión adecuada de la relación causal consiste en decir: hay un Universo, en el sentido de los relativistas, es decir, una totalidad cuyo marco espacio-temporal y cuyo contenido dinámico constituyen un mismo y único sistema.

Resumiendo, la esencia del relativismo brunschvicgiano consiste en negarse a aislar una forma en sí y una materia en sí, un midiente y un medido. Bajo los diversos aspectos de la causalidad se vuelve a encontrar por cierto "la conexión fundamental, señalada por Kant, entre la determinación de una constante adecuada a la puesta en relieve de la variación, y esa variación misma tal como la ha de revelar la experiencia" (pág. 556). Pero Kant buscaba fijar esa dualidad en un dualismo de esquemas independientes: la materia permanente por una parte, el tiempo irreversible por la otra, mientras que el invariante y la variación son constantemente relativos uno con respecto al otro. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, en la reciprocidad entre los dos principios de la termodinámica, uno de

conservación y el otro de evolución, que no pueden disociarse uno del otro sin volver a caer al mismo tiempo en el apriorismo de la identidad y la ontología de lo temporal diverso. Así se desvanecen los seudoproblemas que crea nuestra tendencia casi invencible a aislar los conceptos y a realizarlos en lo absoluto: a las antinomias que engendra la filosofía de la representación, el relativismo crítico opone el dinamismo intelectual que es liberador por la manera en que renueva constantemente los interrogantes.

Pero por más saludable que sea semejante método de análisis e interpretación, que define a la causalidad únicamente por su evolución en el correr de la historia del pensamiento científico, se plantean necesariamente dos clases de problemas en la perspectiva misma del desarrollo genético.

El primero de ellos es el de los diversos planos de realidad, en la forma en que se imponen no a una reflexión filosófica extraña a la investigación genética, sino a la comparación de las diversas actitudes propias de las ciencias particulares en sus desarrollos respectivos. En suma, la causalidad física, según concluye L. Brunschvicg, es la historia de la causalidad física, lo que equivale a destacar con énfasis cuán referida está la realidad exterior, tal como es concebida por el físico, a las operaciones efectivas y mentales del sujeto. Es lo que se ha dado en llamar el idealismo brunschvicgiano y lo que corresponde en efecto a una de las tendencias permanentes de la física matemática. Pero Brunschvicg nos dice también que la historia del Egipto no es sino una historia de segundo grado, que depende de la historia de la egiptología, y que la propia historia de la Tierra descansa sobre la historia de la geología (pág. 520). De aquí se podría seguir concluyendo, por vía de consecuencia: la historia de las especies animales es la historia de la biología, y la historia del desarrollo mental es la historia de la psicología. Pero, cualquiera que sea la verdad parcial que contengan tales relativizaciones, harto se ven las dificultades propiamente genéticas que aquéllas plantean en cuanto a la interpretación de las relaciones entre el sujeto y objeto, como asimismo del propio devenir intelectual.

Sin querer jugar al juego peligroso y asaz antibrunschvicgiano de la inserción de los "tipos" formales, se corre el riesgo, empero, de una regresión al infinito, pues la historia de la egiptología podría ser la historia de los historiadores de la egiptología, etc., etc. Pero hay más aún: si la historia de las ciencias se reduce a su vez a la historia de los historiadores de la ciencia, etc., entonces el propio Léon Brunschvicg, en cuanto sujeto admirablemente activo en su historia de la causalidad física se convierte en un objeto de conocimiento, dejando de ser sujeto para el historiador de las historias de la física; un objeto del que se va a esperar que, pese a todo, permanezca independiente en parte de los sujetos pensantes que han de meditar sobre él. Ahora bien, este hecho por sí solo, ya muestra la existencia de un círculo. ¿Hasta dónde se extiende entonces éste? La historia de la egiptología y de la geología contribuyen al riesgo de agrandarlo, pues el historiador del Egipto cree en la existencia del Egipto antiguo y el historiador de la Tierra cree en la existencia de los períodos paleozoicos, según un realismo muy diferente y más robusto que el del físico enfrentado con un

fenómeno cuya relatividad parcial con respecto a las técnicas experimentales y a los esquemas matemáticos percibe constantemente.

Aparece la siguiente dificultad: el método histórico-crítico de Brunschvicg toma como punto de partida para el desarrollo del pensamiento sus manifestaciones históricas conocidas más antiguas, pero sin remontarse más atrás: ese más atrás es precisamente el pensamiento de los antiguos egipcios (mucho antes del escriba Ahmés), es el de las sociedades desconocidas pero reales que los han precedido, es el del hombre fósil y, finalmente, es la propia inteligencia animal como asimismo el comportamiento de todos los seres vivientes (hasta el paleozoico de los historiadores de la Tierra). Todas esas formas de inteligencia deben situarse, en efecto, en la categoría "sujeto", o mejor aún "historia del desarrollo del sujeto" y no solamente "objeto". Ese más atrás es también la inteligencia infantil a la que L. Brunschvicg ha recurrido[32] a menudo después de haber admitido que el método histórico-crítico se prolonga necesariamente en el psicogenético; pero también es por ende el desarrollo sensoriomotor y el problema de la maduración orgánica, como el de la adaptación biológica hereditaria.

En una palabra, lo que falta a la epistemología de Brunschvicg es un estudio del conocimiento biológico; en ese campo, el idealismo ya algo exagerado en su interpretación del pensamiento físico se enfrenta con un realismo forzoso: el organismo viviente es a la vez un punto de partida de la actividad psicológica del sujeto, y por ende del propio conocimiento, y un objeto para la biología, objeto mucho más independiente del espíritu del biólogo que el objeto físico lo es del espíritu del físico. Es lo que trataremos de demostrar (véase vol. III, caps. IX y X).

Dada esta situación, es muy difícil desplegar toda la realidad sobre un mismo y único plano, el del idealismo matemático; y el círculo de las ciencias (en él culmina la regresión al infinito que acabamos de señalar) nos obliga a usar una fórmula más compleja: la matemática y la física asimilan lo real a las operaciones del sujeto, mientras que la biología y la psicosociología explican esas operaciones por las relaciones del organismo con esa propia realidad. Por otra parte no hay razón alguna para apartarse del método de Brunschvicg: al contrario, es siempre el análisis del desarrollo, tanto en la historia de las diversas formas del pensamiento científico como en la evolución psicológica y biológica, el que nos suministrará el secreto de la construcción de los diferentes aspectos de la razón. Pero ese desarrollo no es lineal en modo alguno y su interpretación es más delicada aún de lo que lo dejaban entrever los sutiles estudios de Brunschvicg.

Se presenta entonces un segundo problema. Si el círculo ineludible del sujeto y del objeto nos impide separarlos y nos obliga a atenernos a sus relaciones, únicamente por intermedio del desarrollo histórico o psicológico de dicha interacción, ¿habrá que concebir ese desarrollo, como lo hace Brunschvicg, como una secuencia libre y sin dirección o existen acaso leyes de evolución, una "ortogénesis" o vecciones que caracterizan la elabo-

[32] L. Brunschvicg: *Les âges de l'intelligence*. París, PUF.

ración gradual de algunos conceptos o de algunos conjuntos limitados de conceptos? Desde luego no hablamos de una dirección fijada de antemano y desde afuera, lo que implicaría un a priori o una finalidad, sino de una dirección que pudiera ser caracterizada simplemente por la marcha hacia cierta forma de equilibrio. Aunque resulte curioso, éste es un problema que Brunschvicg no se plantea en su empeño por no encerrarse en ninguna fórmula que pudiera cercenar el carácter creador e imprevisible del impulso intelectual. Puede entonces surgir el interrogante de si un impulso de inteligencia, de evolución radicalmente contingente, no corre el peligro de parecerse al impulso vital al que Bergson asignó las mismas propiedades de creación y de ausencia de dirección, para destacar su carácter irracional. No cabe duda de que cuando se habla de dirección se corre el riesgo de desembocar en la determinación de normas fijas como la marcha hacia la identificación. Por eso Brunschvicg había respondido a la objeción que le hiciéramos en una oportunidad:[33] sí, una ortogénesis, pero siempre que se la determine posteriormente. No pedimos otra cosa y está claro que una marcha del equilibrio sólo podría comprometer formas de equilibrio discernibles actualmente sin prejuzgar acerca del porvenir. Pero como una estructura equilibrada nunca es repudiada por el desarrollo ulterior de los conocimientos, sino situada como caso particular en conjuntos más vastos, resulta que la investigación de las leyes de equilibrio sigue siendo fecunda.

A ese respecto, el desarrollo de las operaciones constituye un dominio privilegiado, puesto que lo propio de las operaciones es organizarse en sistemas de conjunto cuyo equilibrio móvil parece dotado precisamente de permanencia relativa. Por esto, en el terreno de la causalidad, podemos comprobar que el propio Brunschvicg suministra todos los elementos de lo que podría denominarse leyes de evolución: eliminación gradual de los factores subjetivos y del fenomenismo por la experiencia interpretada deductivamente, y sobre todo orientación en el sentido de una forma de equilibrio caracterizada por la composición operatoria de las variaciones en función de invariantes que permitan el cálculo de las transformaciones. Decir con Brunschvicg que ni las variaciones ni los invariantes pueden ser aislados implica, según parece, enunciar las exigencias permanentes de las leyes de composición, cada vez más complejas por lo demás, pero cuyo carácter común consistirá en asegurar la estructura propiamente operatoria de la causalidad. Queda por buscar la existencia de tales leyes de composición siguiendo el desarrollo de las operaciones, lo cual no nos lleva a un panlogismo estático, puesto que lo propio de las operaciones es implicar lo que Brunschvicg denomina la "primacía del juicio", en oposición a la de los conceptos o de las representaciones.

8. La epistemología física de G. Bachelard. Se puede considerar la epistemología de Bachelard como una prolongación de la de Brunschvicg, pero con un grado de aproximación más avanzado en el análisis

[33] "L'expérience humaine et la causalité physique", según L. Brunschvicg. *Journal de Psychol.*, 1923.

de las transformaciones como tales. La epistemología brunschvicgiana es histórico-crítica: este autor busca la "enseñanza" de la constitución del saber en la sucesión de las grandes etapas de la historia. Con Bachelard la transición misma de una etapa a otra es la que se convierte en problema: si se puede concebir una epistemología genética especializada en el estudio del incremento de los conocimientos en sí, la obra de Bachelard constituye la unión más íntima entre el análisis histórico y la preocupación genética,[34] por la constante precisión con la que este autor localiza el problema epistemológico en las propias transformaciones.

Ese pasaje de un conocimiento menor a un conocimiento superior, tema sobre el que vuelven constantemente los trabajos de Bachelard, se interpreta, en su opinión, en función de dos mecanismos fundamentales entre los que oscilan todas sus explicaciones: la rectificación, por aproximaciones sucesivas, y la "apertura" de teorías cerradas hasta entonces. La sucesión de las aproximaciones rectificadoras brinda la conquista de una objetividad creciente, mientras que la apertura de sistemas que permanecían cerrados sutiliza la propia razón. Los dos polos de la epistemología de Bachelard son entonces: una teoría del objeto en el proceso del devenir y una teoría complementaria del sujeto en su propia construcción. Como denominador común quedará la idea de lo "inacabado". "Los conceptos de realidad y de verdad debían recibir un sentido nuevo de una filosofía de lo inexacto", decía Bachelard en su prefacio al *Essai sur la connaissance approchée* en 1927.[35] "La doctrina tradicional de una razón absoluta e inmutable es una mera filosofía". "Es una filosofía perimida", dice él al concluir su *Philosophie du non* en 1945.[36] Su obra entera ha permanecido fiel al mismo principio de partida: "Tomaremos pues como postulado de la epistemología el carácter fundamentalmente inacabado del conocimiento" (*C. A.*, pág. 13).

Sin embargo, lejos de culminar en una especie de glorificación metafísica de la impotencia racional, como podrían sugerirlo esas formulaciones si expresaran el desarrollo de la historia entera, es por el contrario esencialmente una teoría del avance del conocimiento la que edifica G. Bachelard al centrar sus análisis sobre las fases de transición o de reestructuración, que caracterizan el pasaje de una verdad menor a una idea más verdadera. La psicología de Bachelard es una psicología de la victoria y aun cuando escribe "el problema del conocimiento científico debe plantearse en términos de obstáculos" [37] lo hace para captar mejor el proceso conforme al cual se van venciendo los obstáculos.

El *Essai sur la connaissance approchée* es, en efecto, la obra de un filósofo que ha practicado y enseñado la física. Eso explica su senti-

[34] Y esto con mayor razón desde el momento en que en su obra reciente *Le rationalisme appliqué*, PUF, 1949, llega al estudio de las acciones y de las técnicas mismas.

[35] Pág. 8. Designaremos esa obra con *C. A.*

[36] Pág. 145. Designaremos esa obra con *P. N.*

[37] *La formation de l'esprit scientifique*, pág. 13.

miento vivo y vivido, del conocimiento en vías de constitución, por oposición al examen crítico de las teorías acabadas y desprendidas del ambiente de laboratorio en el cual fueron elaboradas. Eso explica su imposibilidad de encontrar jamás un comienzo absoluto al conocimiento y la necesidad de abordarlo desde el ángulo de su incremento mismo: "Sería un error confundir lo primitivo y lo inmediato... Estamos hechos para tomar el conocimiento en su corriente, lejos de su origen sensible, cuando está mezclado íntimamente con la reflexión. Sólo allí adquiere todo su sentido. La fuente sólo es un punto geográfico, no contiene la fuerza viva del río. El conocimiento en movimiento es un modo de creación continuo; lo antiguo explica lo nuevo y lo asimila; y viceversa, lo nuevo afianza lo antiguo y lo reorganiza" (*C.A.*, págs. 14-15). El conocimiento es, por ende, "la rectificación incesante del pensamiento ante lo real" (pág. 16). Desde sus formas más elementales que deben buscarse en la acción, todo conocimiento está ligado a un conocimiento anterior, según el modo de "asimilación funcional que es el principio más indiscutible de la evolución" (pág. 19). Pero la asimilación funcional es luego "seguida por una asimilación intencional, por una elección activa" (pág. 19), principio de la constitución de los conceptos propiamente dichos. Ahora bien, desde la formación de los conceptos se asiste a un proceso continuo de repetición, de diversificación y de rectificación que expresa la naturaleza de las aproximaciones sucesivas propia del conocimiento. Pero, desde esa partida motriz y luego intuitiva, importa señalar que esa serie de aproximaciones obedece a un "principio de ordenación" (pág. 29) y que también es solidaria con los sistemas de conjunto que expresan la indisociable solidaridad de los conceptos (pág. 26).

El orden, aplicado a las cualidades, conduce luego a la medida. La medida es "una descripción en un lenguaje nuevo" (pág. 52) y es esta descripción la que constituye el único criterio de la existencia física. "Lo que se mide existe y se lo conoce en la proporción en que la medida es precisa. Esa doble afirmación condensaría toda la ontología científica y toda la epistemología del físico" (págs. 52-53). "Pero la medida, cualquiera que sea la descripción que nos dé, no agota la diversidad del objeto" (pág. 55). Desde este mismo punto de partida surge el proceso fundamental que constituye, mucho más que la sucesión de las propias teorías, el motor efectivo del incremento de los conocimientos: "el problema de la medida subtiende en cierto modo en su desarrollo la historia toda de la ciencia. La precisión de las medidas es suficiente... para caracterizar los métodos científicos de una época. Hay teorías que pueden renacer después de un eclipse de varios siglos. Por el contrario, una conquista en la minucia desclasifica irremediablemente los conocimientos experimentales de una época. Una historia del conocimiento aproximado sería con respecto a la historia de los sistemas científicos, como la historia de los pueblos es con respecto a la historia de los reyes" (pág. 69). En efecto, con la historia de las medidas se vincula la consideración esencial de la sucesión de los "órdenes de magnitudes" o de escalas. Resulta así que partiendo de leyes cuyo "punto de partida está en visiones a priori" (pág. 93), el físico las sustituye por la

consideración de "leyes aproximadas" que se trata de rectificar, sea en el sentido de la diferenciación, sea en el de la simplificación, según una serie de aproximaciones siempre más apretadas y en función de escalas siempre más afinadas.

Esa imagen del conocimiento en el proceso del devenir sugiere entonces otras relaciones entre el sujeto y el objeto distintas de las que presuponen los esquemas epistemológicos clásicos. Oscilando entre la generalización por medio de deducciones reducidas al estado de simples marcos (pág. 10) y una verificación por rectificaciones continuas, el conocimiento desbarata a la vez el programa del idealismo y el del realismo. El idealismo es impotente ante el hecho del error: sólo podría acomodarse a la fijeza y "no conocerá otra movilidad sino la de los cataclismos" (pág. 13). El proceso de una rectificación progresiva escapa por su naturaleza a un idealismo de coherencia estática y aun de "devenir" subjetivo, puesto que quien dice aproximaciones, dice convergencia hacia un límite que es el objeto. Pero el objeto-límite a su vez sólo podría trascender en imaginación la serie de actos que tienden a establecerlo. "Si en el aproximacionalismo no se alcanza el «objeto», foco imaginario de la convergencia de las determinaciones, se definen funciones epistemológicas cada vez más precisas que, en todos los niveles, pueden sustituir la función de lo real, o sea desempeñar el papel del objeto. En otros términos, el objeto permanece inmanente a la idea estando situado al mismo tiempo, como conviene, tan lejos como sea posible de la idea. Una idea conservará siempre un carácter subjetivo o artificial. Pero una idea que se rectifica da en sus diferentes determinaciones un grupo orgánico. El grupo es el que recibe el signo objetivo. Dicho de otro modo, *el objeto es la perspectiva de las ideas*" (pág. 246).

Si el conocimiento aproximado es al mismo tiempo una marcha hacia la objetividad y una construcción creada por el sujeto, se plantea el siguiente interrogante: "cómo la construcción puede unirse con la estructura".[38] Desde su análisis de las soluciones propuestas al problema de la propagación térmica en los sólidos, Bachelard trata de "unir todo lo que hay de constructivo en el pensamiento racional y lo que hay de manifiestamente general, de simétrico y de repetido en los hechos".[39] La continuación de su obra lo ha llevado a insistir siempre más sobre esa fecundidad ilimitada de la razón, con el riesgo de orientarse aparentemente a veces hacia un simple idealismo de la construcción. Pero si recordamos el realismo crítico del "conocimiento aproximado", el idealismo crítico de la "filosofía del no" constituye seguramente su complemento indispensable.

El "nuevo espíritu científico" que caracteriza, según G. Bachelard, la matemática y la física modernas, difiere, en efecto, tanto del racionalismo dogmático, desde el punto de vista de la construcción intelectual, como las aproximaciones sucesivas propias del método experimental se apartan

[38] *Étude sur l'évolution d'un problème de physique*. Vrin, 1927, pág. 169.
[39] *Ibid.*, pág. 174.

del realismo empirista, desde el punto de vista de la adecuación al objeto. "Para el racionalismo científico la aplicación no es una derrota o un compromiso. Quiere aplicarse; si se aplica mal, se modifica. Para eso no reniega de sus principios, los dialectiza. Finalmente, la filosofía de la física es quizá la única filosofía que se aplica determinando un avance más allá de sus principios. Resumiendo, es la única *filosofía abierta.* Cualquier otra filosofía postula sus principios como intangibles, sus verdades primeras como totales y acabadas. Cualquier otra filosofía hace alarde de su *carácter cerrado*" (*P.N.*, pág. 7).

Ahora bien, lo esencial de esa dialectización que "abre" constantemente los sistemas cerrados ante una contradicción aparente consiste, para una propiedad o una proposición A impuestas por principios anteriores, en considerar el descubrimiento de un no A como si constituyera no una contradicción con respecto a A, sino una extensión complementaria tal que A y no A pueden volverse compatibles en una nueva totalidad B por revisión de los postulados que implican la necesidad de A. Por ejemplo, si A es la masa definida por la mecánica clásica, y no A son las formas no constantes de la masa relativista y, sobre todo, la "masa negativa" de Dirac en la teoría de los *spin*, la filosofía del "no" no concebirá esas extensiones de la masa como contradictorias con la idea de masa: así como las geometrías no euclidianas (¡ejemplo clásico de la filosofía del "no"—!) no contradicen la euclidiana sino conducen simplemente a una revisión de los conceptos de distancia y de ángulo, así también las masas no constantes o negativas terminan en una ampliación fecunda de la idea de masa. "Se llega entonces a esta paradoja metafísica: el elemento es complejo. Correlativamente se advierte que la idea de masa sólo es simple en primera aproximación" (*P. N.*, pág. 31). De aquí surge un "perfil epistemológico" de las ideas de masa de acuerdo con sus diversas interpretaciones compatibles con las epistemologías corrientes (pág. 43), así como se compone o se descompone el perfil psicológico de un individuo en función de sus principales operaciones mentales. Asimismo una química no lavoisiana, una no analiticidad del espacio microfísico y una lógica no aristotélica (es decir, no bivalente) llevan a encontrar el mismo esquema de extensión por complementariedades en los dominios más diversos. De esta dialectización general no proceden ni el caos ni bifurcaciones irreducibles: nuevas exigencias de coherencia aseguran, en esas construcciones imprevisibles del sujeto, como en las aproximaciones sucesivas que convergen hacia el objeto, la conexión nunca rota entre el presente y el pasado.

En cierto sentido Bachelard marca una renovación de la tradición brunschvicgiana al ahondar el análisis de las fases de transición en el proceso histórico del acrecentamiento del saber. Aunque no aborda de frente el problema de la evolución dirigida, suministra no obstante todos los materiales para una solución posible. Pues si se quisiera determinar el denominador común de la serie de generalizaciones por extensión y reagrupamiento de conceptos (lo que él denomina dialectización de la construcción), se hallaría fácilmente el principio de una equilibración progresiva entre las

acomodaciones al objeto y la asimilación de lo dado a esquemas operatorios, tanto más rigurosos cuanto que el "no" del que proceden no es la expresión de la contradicción, sino de la movilidad reversible propia de las operaciones más esenciales de la razón.

9. La teoría física según G. Juvet. El matemático y astrónomo G. Juvet ha escrito un elegante librito[40] para mostrar que la teoría física es la continuación directa del pensamiento matemático. Pero la originalidad de su concepción consiste en tender hacia el mismo realismo en matemática que en física y reunir así en una totalidad única la "objetividad intrínseca" de la matemática y la objetividad extrínseca de la física, fundándolas ambas sobre la existencia de "grupos" interpretados como consustanciales con la realidad misma. Por esta razón y al margen de su platonismo, esta doctrina interesa desde el punto de vista del análisis de la causalidad concebida como mecanismo operatorio.

"El trabajo del espíritu es considerable en la construcción de la ciencia, dice Juvet al final de un estudio sobre la medida del tiempo; se podría sostener y se ha sostenido que el tiempo fue una invención, una creación del espíritu; pero entonces no hay que olvidar que el espíritu se retiró discretamente de la escena, en el momento en que el tiempo se eliminaba en los enfrentamientos y en las predicciones. Podría creerse que el orden más o menos perfecto que el espíritu encuentra en la naturaleza es un reflejo de su actividad y, sin embargo, ese orden persiste cuando el espíritu se convierte de actor en espectador" (pág. 26). Pero este problema de las relaciones entre el orden racional y el orden natural no podría ser resuelto por el análisis del pensamiento físico en sí. Al hablar de la teoría de la relatividad Juvet dice, por ejemplo: "La física, por sus métodos, es impotente para realizar esa encuesta, como fue impotente, por más que lo pretendieran los energetistas, para desarrollarse, para construirse por sus propios métodos y únicamente con sus medios... Ahora bien, si es cierto que la matemática, al cerrarse sobre sí misma, abarca las artes más nobles, la metafísica más sublime, y con ello las explica, también permitirá juzgar las teorías de la física y con la crítica que haga de los conceptos geométricos sobre los que aquéllas se basan, explicará realmente el porqué de los acuerdos entre la especulación y la experiencia" (pág. 54).

¿Cuál es entonces el resultado de esa crítica geométrica? Juvet acepta parte (pág. 6) de las conclusiones de F. Gonseth, a saber, que la axiomática se refiere siempre a un conocimiento real correspondiente. Pero disiente de Gonseth por cuanto ese conocimiento real no le parece provenir de la experiencia: ésta procede de una estructura que descubrimos en nosotros sin haberla, no obstante, creado, y que volvemos a encontrar en las cosas sin extraerla de ellas. Siendo una especie de ideas platónicas, esa estructura no consiste sin embargo en conceptos ni en universales, sino en "grupos": "El espíritu no crea los hechos matemáticos, se somete a ellos; la investigación

[40] *La structure des nouvelles théories physiques*. Alcan, 1933.

fructífera no es una invención, es un descubrimiento; el conocimiento que puede ser intuitivo sólo está afirmado cuando el espíritu ha experimentado el *rigor* de las propiedades del grupo, así como el conocimiento de los hechos físicos sólo es posible cuando el investigador ha tenido la *experiencia* de las cosas" (pág. 176). En cuanto a ese rigor del grupo, "viene de los entes matemáticos mismos, y no es una exigencia del espíritu. Poincaré decía: «La existencia de un ente matemático se debe a que no implica una contradicción», nosotros diríamos que un ente matemático no implica contradicción precisamente porque es, porque existe" (pág. 176). Desde ese punto de vista "la axiomática de una geometría será completa sólo si es verdaderamente la representación exacta de un grupo; mientras no se haya encontrado el grupo que la fundamente en la razón, ella será incompleta y quizá contradictoria" (pág. 169).

Considerando esto, ¿en qué consiste el conocimiento físico? El positivismo, como piensa Juvet, no es sino un subjetivismo cuya consecuencia natural es la de virar al antropomorfismo (pág. 84). Del mismo modo, la interacción entre el sujeto y el objeto en microfísica le parece un mito "y no habría que insistir demasiado para convertirla en la base de un subjetivismo impotente o de un escepticismo radical" (pág. 138): si el observador deforma el hecho, responde al respecto Juvet, ¡el producto de los errores sobre dos variables conjugadas será con todo un invariante! ¿Será necesario entonces recurrir a las imágenes representativas? No, por cierto: "Así como no se juega al ajedrez con el corazón, ¡tampoco debe hacerse física con la imaginación!". Sin embargo, a falta de imágenes la física alcanza representaciones adecuadas, como la mecánica relativista: "no se podría pretender, porque ella no pueda «ver» en el espacio de Minkowski, que no sirve para dar una representación, una verdadera imagen... perfectamente aprehensible por la inteligencia" (pág. 104). Pero entonces la teoría física es una representación ¿de qué? Ya no lo es más de las "cosas": "la ciencia no alcanza las *cosas*; el análisis de los fenómenos es infinitamente más sutil" (pág. 141): "La geometrización de la física parece ceder el sitio a una matematización más formal y más simbólica; las nuevas teorías sobre la materia y la energía, las mecánicas ondulatoria y cuántica hacen pasar la primacía, reservada hasta entonces al espacio-tiempo, a un simbolismo algebraico que no difiere quizás en su esencia matemática de la figuración geométrica, puesto que el álgebra y la geometría proceden ambas de la teoría de grupos" (pág. 5).

Allí está entonces el nudo de la cuestión. La relatividad generalizada, por ejemplo, alcanzó la realidad en virtud del concepto de grupo: "no es solamente por una mejor aproximación que ella despierta la admiración, es... porque parece expresar la perfecta adecuación de nuestro espíritu a la realidad" ... "Más allá de las apariencias que perciben los sentidos, el físico encontró la unidad y la permanencia; después de una larga encuesta reconoció que esa unidad, esa permanencia se expresan y se comprenden por el concepto de grupo" (pág. 59). Asimismo, la idea de grupo es aplicada por Dirac a la microfísica, en que los operadores ligados a las transformaciones de un grupo sirven para representar las magnitudes

observadas. En particular el grupo de las permutaciones sirve para explicar el principio de exclusión de Pauli: así "en la punta de la nueva mecánica, se halla la teoría de los grupos y su magnífico imperialismo" (pág. 152). En fin "el espíritu supo encontrar quizá por venturoso azar grupos más o menos ricos para que reconstruyeran para él, con mayor fasto aún, la realidad que los sentidos le han hecho conocer. *La estructura de la realidad física es idéntica a la de esos grupos* [la bastardilla es nuestra] lo que significa que la descripción axiomática de la física, cuyos lazos con la experiencia son tan fuertes que nuestro primer análisis no ha podido cortarlos, es una representación de ciertos grupos. Los progresos de la física se miden por la precisión de las aproximaciones numéricas, por la extensión del dominio que el hombre ejerce sobre las cosas, es verdad, pero sobre todo se miden por la fidelidad de los grupos sobre los cuales se fundan las teorías" (pág. 172).

De aquí derivan las conclusiones epistemológicas de Juvet: "La roca que el espíritu ha encontrado para fundar sus construcciones es nuevamente el grupo, que parece ser el verdadero arquetipo de los entes matemáticos. Esta identidad entre la esencia de la matemática y la de la física, adivinada antes de ser reconocida, ha confundido a los idealistas, para quienes esa esencia está en el espíritu porque preexiste en él con anterioridad a cualquier actividad matemática, y a los empiristas, para quienes cualquier ciencia sólo procede de las huellas que el mundo exterior imprime a los órganos de los sentidos" (pág. 60). Los grupos existen pues a la vez en el espíritu y en el mundo exterior: la "actividad matemática es precisamente el esfuerzo del espíritu por conocer a la vez su propia estructura y la del mundo exterior. Poincaré decía: «la idea de grupo preexiste en nuestro espíritu», sí, pues nuestro espíritu sólo piensa con ella; pero los grupos existen también en el universo físico y será un sabio genial aquel que sepa descubrirlos" (pág. 174). "Las cosas desaparecen en las teorías físicas elaboradas; la realidad física participa de los grupos, es decir, de la realidad matemática... pero, si la materia es número, como decían los pitagóricos, podemos creer que todos los entes matemáticos no tienen necesariamente un modo de existir en la realidad física. Sin avanzar más en nuestras precisiones, diremos que el mundo físico es sólo un reflejo o una sección del mundo matemático" (pág. 176). Y finalmente: "Si los grupos son los arquetipos de los entes matemáticos entonces su estructura expresa su esencia, y las diversas representaciones que se conocen de ellos, los sistemas de lógica, las teorías analíticas, las geometrías, las síntesis físicas son sus diversos modos de existencia: su eficacia es reconocida por la intuición intelectual en virtud de la cual el espíritu aprehende la estructura de dichas representaciones y la identifica con la ciencia" (págs. 176-177).

El interés de esta doctrina no deriva solamente de su valor intrínseco sino también de su historia. Tomando pie en un realismo materialista, para el cual la matemática era simplemente la "imagen" (en el sentido de Le Dantec) de algunos aspectos de la realidad física, Juvet reconoció más tarde, gracias a Duhem, la necesidad de la representación matemática en

la interpretación de la realidad; luego, abandonando el positivismo de Duhem bajo la influencia de la teoría de la relatividad llegó a invertir su realismo inicial hasta hacer del mundo físico una "sección" del de los entes matemáticos. Se podría decir que se trata de una simple metafísica de matemática, sin consecuencia para la epistemología de la física. Pero hay que distinguir dos aspectos en la teoría de Juvet. Está, por cierto, el aspecto metafísico o "realista", pero es fácil de disociar del otro que es meramente epistemológico: en efecto, decir que el mundo físico es una sección del mundo de los entes matemáticos puede traducirse por la proposición evidente de que lo real "experimental" sólo es una parte de lo posible (deducible). Dejemos entonces el aspecto metafísico de la doctrina y examinemos su alcance epistemológico.

Desde el punto de vista de la epistemología matemática, el gran interés de la teoría de Juvet consiste en concebir el concepto de "grupo" como si constituyera a la vez el único criterio real de no contradicción y la estructura fundamental por la que la objetividad matemática se impone al espíritu. Así, el sujeto descubre las relaciones matemáticas no desde afuera, por la experiencia, sino desde adentro por el mecanismo de las coordinaciones operatorias. A esta generalización de las ideas de Poincaré, Juvet añade por su realismo una toma de posición muy sugerente en el terreno de la epistemología física: los grupos constituirían no sólo la estructura del espíritu sino la de la realidad física.

No cabe duda de que los entes físicos no son "cosas", nos dice Juvet, sino sistemas de relaciones sin sustrato representable o "imaginable". Si se quiere mantener un realismo antipositivista como el de Juvet o si se quiere respetar simplemente la originalidad de las relaciones físicas que son registrables por la experiencia, y no sólo deducibles, ¿en qué consiste entonces el grupo como hecho físico? Examinemos el más sencillo de los grupos, que puede ser concebido como físico: el de los desplazamientos, en cierta escala euclidiana de los móviles macroscópicos, es decir, sin la intervención de grandes velocidades. Comprendemos bien en este caso el significado físico de la composición de dos operaciones directas (el producto de dos movimientos es también un movimiento) y de la asociatividad de los movimientos $a + (b + c) = (a + b) + c$. ¿Qué significa físicamente la operación idéntica o ausencia de desplazamiento si no existe reposo absoluto? Y, sobre todo, ¿qué significa la operación inversa, si ningún movimiento físico es rigurosamente reversible? Está claro que tales operaciones suponen la elección de un sistema de referencia y una abstracción que consiste en cambiar los signos de las ecuaciones sin tener en cuenta todas las condiciones físicas que se opondrían en la realidad a semejante cambio. Cuando hay estructuras de grupo que intervienen en física, es porque la deducción matemática añade algo a la realidad observada: le añade un marco de relaciones nuevas; le añade, sobre todo, la consideración de lo posible de tal modo que el estado presente pueda estar relacionado con los estados pasados y futuros, ambos físicamente irreales. Pero más aún que todos los otros sistemas de relaciones matemáticas, la estructura de grupo aplicada a lo real crea dificultades insuperables desde el punto de

vista del realismo, porque es una estructura de transformaciones o de operaciones puras, y no de relaciones construidas. De querer "realizarla" en el mundo físico mismo nos veríamos obligados, como lo demuestra el ejemplo de la doctrina de Juvet, a disolver lo real físico en el interior de un mundo más grande de entes matemáticos, ¡del cual lo primero sólo puede ser una "sección"!

Se plantea ahora la cuestión de saber si el realismo no es más interesante como hecho psicológico, es decir, como proyección de las estructuras operatorias en la realidad, que como filosofía física. El éxito físico del concepto de grupo nos enseña que no se podría pensar, ni siquiera comprobar, el hecho experimental *dado*, si no se lo sitúa en un sistema de transformaciones *posibles* que, en cuanto posibles, se apoyan necesariamente sobre una deducción y no sobre una lectura, o al menos sobre una coordinación de acciones virtuales y no solamente sobre una sucesión de fenómenos observables. Hay entonces dos maneras de concebir la aplicación de los grupos matemáticos a la realidad. Está la manera positivista o, como dice Juvet, "subjetivista": consiste en situar el grupo en el espíritu o, según los neopositivistas, en el lenguaje del físico que describe la realidad. En ese caso el grupo sólo presenta una relación indirecta con las realidades que aquél podría formular. Pero hay otra manera, y es la que parece corresponder mejor a los procesos efectivos del pensamiento científico: es la de interpretar las transformaciones de los objetos revelados por la experimentación, como si fueran operaciones de grupo, aun si esa asimilación de lo dado a lo operatorio presupone la intervención de elementos que, como la identidad y la reversibilidad, no pueden concebirse enteramente desprendidos del observador y traducen tanto sus acciones como los observables. En otras palabras, la explicación física asimila lo real a las operaciones matemáticas, no en el mero sentido de una traducción de lo dado exterior en esquemas interiores, sino concibiendo la realidad misma como el lugar de las cuasi operaciones construidas conforme al modelo de las operaciones del sujeto: las modificaciones de la realidad se considerarían entonces ni más ni menos como transformaciones operatorias. Esto se ve sobre todo en los campos de la relatividad y de la microfísica, invocados por Juvet como pertinentes al concepto de grupo. Este proceso es general y capaz de dar lugar a una interpretación de la causalidad entera: ésta comienza, bajo sus formas antropomórficas, siendo solamente una asimilación analógica de lo real a las acciones del sujeto, pero, bajo la influencia de las coordinaciones de las acciones en operaciones, llega a constituir una asimilación a las propias operaciones. Por otra parte es lo que todos admiten, salvo los empiristas, bajo una u otra forma, desde Descartes y Kant, cuando se define la causalidad como una analogía de la deducción aplicada a la experiencia.

10. CONCLUSIONES: CAUSALIDAD Y REALIDAD FÍSICAS. El punto de partida del conocimiento está constituido por las acciones del sujeto sobre la realidad. No se puede hablar siquiera de objetos, ni tampoco de sujeto consciente de su calidad de sujeto, antes que se organicen las acciones

elementales, puesto que la realidad, enteramente indiferenciada primero en lo que se refiere a los polos interno y externo, es recortada luego en objetos permanentes en virtud de la coordinación de las acciones sensoriomotrices, según las leyes de retorno y de desvío.

Entre las acciones que el sujeto ejerce sobre los objetos, las hay que dejan invariantes a estos últimos en calidad de objetos y no los modifican en sí mismos, sino que se limitan a reunirlos[41] o a seriarlos en clases de relaciones o de números. Dichas acciones, que no modifican el objeto ni lo constituyen en cuanto objeto, pueden además coordinarse entre sí de tal modo que nada tomen de él. No requieren, por ende, en su origen otra experiencia que aquella que realiza el sujeto sobre sus propios actos por medio de objetos cualesquiera (por ejemplo, cuando el niño descubre que al contar tres objetos en el orden CBA halla el mismo número que en el orden ABC, o cuando el matemático descubre empíricamente que un número es el primero sin poder demostrar aún el por qué). Sin extraer ningún carácter particular de los objetos en sí, la coordinación de esas acciones equivale a agruparlas en forma de operaciones lógico-aritméticas, y las deducciones que resultan de esta organización de las operaciones caracterizan lo que podemos llamar la función implicadora del pensamiento.

Existen en cambio acciones ejercidas por el sujeto sobre el objeto, que lo modifican en forma de descomposiciones y de recomposiciones, tales como el seccionarlo, el imprimirle un movimiento,[42] el pesarlo,[43] el hacerlo chocar con otro, etc. Esas acciones que modifican a los objetos están coordinadas entre sí de una manera que, según los casos, toma o no toma de ellos algunas características. Cuando las acciones extraen de los objetos ciertas cualidades se dice que el conocimiento resultante es físico, y las operaciones engendradas por su organización constituyen las operaciones espacio-temporales o físicas que determinan cuatro clases de conceptos interdependientes: el espacio y el objeto como tal (materia), el tiempo y la causalidad. Este conjunto operatorio puede denominarse función explicadora del pensamiento.

El espacio ocupa en este sentido una situación especial, pudiendo ser ya físico y matemático a la vez, ya únicamente matemático, según que interese de modo simultáneo al objeto y a la acción, o a la acción en sus coordinaciones solamente. El sujeto puede en efecto desplazar, seccionar, etc., un objeto pero el objeto puede desplazarse, ser seccionado, etc., independientemente del sujeto. Esta dualidad no existe para las operaciones lógico-aritméticas porque la reunión espontánea de algunos objetos no constituye ni una clase ni un número al margen del sujeto, sino solamente

[41] Se dirá que reunir es un movimiento comunicado al objeto, pero el acto de reunir abstrae las posiciones y las figuras espaciales, mientras que desplazar, hasta en el pensar, es transformar el objeto total constituido por el móvil y su sistema de referencia.

[42] Véase nota 41.

[43] Es decir constituir un objeto total en forma de un sistema de fuerzas, diferente de aquel en que el objeto individual que debía pesarse estaba incorporado anteriormente.

una colección física de configuración espacial. Por otra parte, cuando el sujeto coloca o desplaza un objeto, lo secciona o lo vuelve a componer, etc., la estructura de sus acciones no es la misma como cuando le imprime una velocidad, o lo quema, etc. En el primer caso, en efecto, al modificar el objeto y al ejercer así una acción física sobre sus cualidades de espacio físico, el sujeto sólo realiza acciones generales que consisten en coordinaciones exactamente isomorfas a las que engendran las operaciones lógico-aritméticas, salvo que ellas se apliquen a la composición interna del objeto y no a la de las colecciones o de las series: en este último caso las operaciones espaciales no toman sus características del objeto. En el segundo caso, es decir cuando la acción opera sobre las cualidades especiales del objeto o cuando se trata de movimientos, seccionamientos, etc., del objeto, independientes del sujeto, el espacio real o físico es indisociable de las otras cualidades físicas (tiempo, masa, etc.). Ese espacio experimental se refiere, como el espacio matemático, a las formas, emplazamientos, etc., pero el continente es entonces inseparable del contenido, es decir de los objetos materiales.

El tiempo que resulta de la coordinación de las velocidades (o de los cambios de estado con respecto a la energía) presupone necesariamente la intervención de conceptos abstractos del objeto, además de las coordinaciones operatorias del sujeto. Las acciones referidas al objeto material en sí, en su permanencia sustancial, se encuentran naturalmente en el mismo caso. En cuanto a la causalidad, es decir al sistema de interacciones entre objetos, ella manifiesta a fortiori una doble naturaleza, y realiza así una fusión indisociable entre la deducción operatoria y las secuencias experimentales. Por una parte la causalidad emana, en efecto, de las acciones y operaciones del sujeto sobre los objetos y constituye ante todo el sistema de las operaciones espacio-temporales aplicadas a las interacciones entre objetos: desde este primer punto de vista ella tiende ya de entrada a organizarse en una deducción paralela a la deducción lógico-aritmética; y como esos dos sistemas de operaciones se reúnen, al formalizarse, en un solo conjunto, la causalidad que procede de la acción sobre los objetos toma la forma de una deducción operatoria, sea geométrica, sea analítica, aplicada a la experiencia temporal. Por otra parte, la causalidad no expresa solamente las acciones del sujeto sobre los objetos, sino también las acciones que los objetos ejercen unos sobre otros; y, cuando el sujeto interviene en un contexto físico en calidad de causa, se concibe a sí mismo como un objeto entre los demás, es decir como uno de los términos de la serie causal y no como exterior a ella (por ejemplo, como un sujeto que clasifica y enumera, pero que es ajeno a las colecciones que construye). ¿Cómo son pensadas entonces esas interacciones entre objetos? Tal es el problema específico de la causalidad, es decir, precisamente el problema de lo que distingue la causalidad de una simple deducción espacial o algebraica analítica.

Ahora bien, en todos los niveles (véanse §§ 1 y 2 del cap. VIII) esas mismas interacciones son concebidas por asimilación analógica a las acciones y operaciones del sujeto: asimilación deformante y egocéntrica en el caso

de formas inferiores de causalidad, concebidas conforme al modelo de las acciones subjetivas intencionales (finalidad), musculares (fuerza), etc.; asimilación no deformante (por ser más conciliable con las previsiones experimentales), en el caso de formas superiores, concebidas por intermedio de las coordinaciones operatorias y no ya de las acciones empíricas. Pero entonces se trata de comprender cómo esta asimilación a las operaciones llega a reducir los datos de experiencia a un sistema deductivo, sin dejar de situar, pese a todo, la causalidad en las cosas. En las formas inferiores de causalidad, lo dado se reduce a los enlaces fenoménicos englobados en el esquema de asimilación egocéntrico. En las formas superiores lo dado está constituido por el conjunto de relaciones legales, en oposición a la deducción que las coordina en forma causal, pero esta coordinación termina, como hemos visto (§ 6), por insertar lo causal en lo legal sin salirse de lo legal y agregándole solamente la parte de necesidad que le falta en el caso de las leyes particulares.

Desde el punto de vista del dato experimental, la acción de un objeto sobre otro se reconoce por una doble variación que se puede expresar, sea por medio de una correlación cualitativa (correspondencia entre dos sistemas de relaciones), sea por medio de una función matemática. Esta puesta en relación lógico-matemática introduce ya un comienzo de necesidad en cuanto traduce las variaciones en función de equivalencias lógicas o matemáticas; pero dichas equivalencias no explican todavía las variaciones como tales y se limitan a coordinar sus valores posibles de acuerdo con un modo cualquiera de composición operatoria, desempeñando un papel meramente descriptivo por estar referido a los procedimientos de elaboración formal del propio sujeto. Una segunda etapa puede consistir en incorporar las leyes particulares estructuradas de ese modo en leyes más generales pero con formas análogas, lo que refuerza la coordinación formal del sistema pero nada añade a la explicación causal. Esta se inicia cuando las propias variaciones llegan a ser interpretadas como causas y efectos por convertirse en expresión de operaciones, pero esta vez atribuidas a los objetos en sí. Entre la causalidad y la deducción se produce entonces una diferenciación, análoga a la que caracteriza el espacio cuando las relaciones espaciales reales o experimentales son concebidas como sistemas de transformaciones operatorias, análogos a los que el sujeto puede generar gracias a su actividad propia: por el éxito y la adecuación de las operaciones que aplica a lo real, el sujeto concibe la realidad sólo por analogía con aquéllas. De esta manera los principios de conservación son la expresión de grupos de transformaciones; constituyen sus invariantes sobre el modelo de los invariantes de grupos que se refieren a magnitudes abstractas puras: desde la constitución de los primeros conceptos de conservación en el niño, se observa así que el invariante de la cantidad de materia surge aproximadamente en el mismo nivel y según los mismos procedimientos operatorios que la conservación de los conjuntos lógicos y numéricos. La conservación se prolonga enseguida en explicaciones atomistas; éstas, desde sus formas más elementales, representan esquemas de composición, análogos a los esquemas lógico-aritméticos y geométricos. Las propias explicaciones pro-

babilísticas proceden por asimilación del azar a composiciones combinatorias, y el carácter incompleto de las combinaciones reales, con respecto a las posibles, nada quita al alcance del mecanismo explicativo, análogo en este caso a lo que es en todos los demás: la mezcla real es asimilada así, pese a su carácter específico de desorden, a lo que serían una serie de permutaciones como efectuadas de cualquier manera por el sujeto y sin agotar la totalidad de las operaciones posibles.

Ahora bien, esa especie de proyección de las operaciones del sujeto en la realidad, si bien prolonga de un modo manifiesto el mecanismo de las formas inferiores de causalidad, que se han originado al atribuirse al objeto acciones subjetivas, ya nada tiene de antropomórfico: como la coordinación de las operaciones en forma de grupos o de sistema de conjunto tiene por efecto el descentrar el punto de vista del observador y eliminar de su interpretación toda intervención de la acción subjetiva o egocéntrica, entonces las modificaciones de la realidad son asimilables recíprocamente a transformaciones operatorias, porque éstas ya no expresan sino la conexión necesaria entre la serie de las observaciones posibles del sujeto. La necesidad agregada por la coordinación operatoria a la realidad, y que explica a esta última, no consiste ni más ni menos que en una inserción de lo dado actual en la serie reversible de los estados posibles, incluidos el pasado y el futuro: hay allí al mismo tiempo una intervención necesaria de las operaciones del sujeto, puesto que únicamente su pensamiento es reversible y alcanza todo lo posible, y una adecuación de dichas operaciones al objeto, sin deformación de éste puesto que los estados observados en la práctica constituyen siempre un caso particular de los estados deducidos como posibles.

Se comprende así la diferencia entre los dos tipos de generalizaciones sobre los que hemos insistido con anterioridad (§§ 2 y 3): la generalización simplemente formal o por inclusión, y la generalización por composición operatoria. El primero de estos dos tipos no es explicativo y se limita a ampliar el campo de las leyes enfocadas, porque consiste en un pasaje directo de "algunos" al "todos", pero a un "todos" cuya totalidad permanece real y abarca solamente el conjunto de los casos observados o efectivamente observables. Por el contrario, la generalización por composición, al sobrepasar lo real por medio de la reversibilidad, alcanza todo lo posible y atribuye por este solo hecho un carácter de necesidad a las relaciones efectivas, es decir a las leyes dadas. Tomemos un ejemplo sumamente sencillo: las relaciones que explican el equilibrio de dos pesos desiguales A y B (donde B = 2A) situados a distancias *a* y *b* diferentes del punto medio, entre los dos brazos de una balanza. La ley observada indica que los pesos A y B estarán en equilibrio si las longitudes *a* y *b* de las palancas son inversamente proporcionales a dichos pesos: $a = 2b$. Tal relación, medida en una cierta cantidad de casos, puede luego generalizarse a todos (por ejemplo, si B = 3A, el equilibrio se alcanza para $a = 3b$, etc.). Pero esta ley nada explica todavía porque se limita a extender a todos los casos la puesta en relación de las operaciones de medida efectuadas por el sujeto. Si se quiere, se trata ya de una composición de relaciones, pero

por simple inclusión lógica de algunas relaciones estáticas dadas en un "todos" que les añade solamente una generalidad real. La explicación comienza cuando en lugar de poner en relación los pesos y sus palancas en sus posiciones estáticas observables, el pensamiento hace intervenir los desplazamientos, y lo hace según todas las combinaciones dinámicas posibles. Como el desplazamiento de una fuerza constituye un trabajo, y puesto que las dos palancas están siempre inclinadas según los mismos ángulos (positivos o nulos), se comprueba que el trabajo efectuado para hacer subir B en una altura *h* es el mismo que para hacer subir A en una altura *nh*, si B = *n*A; la anulación de esos trabajos asegura entonces el equilibrio. ¿Por qué semejante relación es explicativa? Primero porque se refiere a las transformaciones del sistema inicial, en lugar de enfocarlo en su estado simplemente estático: el estado de equilibrio que hay que explicar se convierte en un caso particular (esto no significa desde luego que toda ley que exprese un conjunto de variaciones sea por este mero hecho explicativa; pero la explicación comienza por la inserción de las relaciones dadas en un sistema de transformaciones componibles). Luego y sobre todo, porque las transformaciones introducidas abarcan todo lo que es posible y ya no solamente los estados reales. En efecto, el célebre principio de los trabajos virtuales a que se refiere aquí la explicación (el principio de las velocidades virtuales de Lagrange) expresa que un sistema está en equilibrio cuando la suma de todos los trabajos posibles, compatibles con los vínculos propios del sistema, es nula: en otras palabras, los dos pesos se equilibran porque todos los desplazamientos que podrían efectuar (pero que no efectúan) a partir de su estado de equilibrio se anulan algebraicamente. ¿Se dirá entonces que la explicación proviene de la identificación entre B × *h* y A × *nh*? Pero no, puesto que otra identificación (proposición inversa entre los pesos y la longitud de las palancas) ya intervenía en la ley inicial sin volverla explicativa sin embargo. La identidad en el principio de Lagrange (igualdad de todos los trabajos posibles de sentido contrario) es en realidad la operación idéntica (= anulación de los trabajos) del grupo considerado, y la explicación se refiere al grupo entero, es decir a la coordinación del conjunto de las transformaciones reales y posibles concebidas como operaciones. Se ve entonces hasta la evidencia en qué consiste la asimilación, propia de la causalidad, de las transformaciones objetivas a las operaciones del sujeto. En nada equivale a imaginar la realidad conforme al modelo de la acción (como si por ejemplo el "trabajo" en cuestión fuera comparado al trabajo muscular), sino equivale a completar en cada instante la realidad observada efectiva, por el conjunto de los estados anteriores, futuros o simplemente posibles (= los trabajos "virtuales"), cuya totalidad, imposible de realizar en una acción física simultánea y de recorrer siquiera de un modo rigurosamente reversible, es sin embargo necesario invocar por reconstitución operatoria, para dar cuenta del estado de equilibrio físicamente dado. Resumiendo, explicar el equilibrio de la balanza es atribuir a la realidad el poder, que sólo posee el pensamiento, de reunir todos los estados y cambios de estados posibles, conforme a un principio de composiciones simultáneas que engloban a la

vez las variaciones y los invariantes: esta generalización de las relaciones legales por composición operatoria constituye la explicación causal porque da cuenta de las diferencias y de las semejanzas, o de lo diverso y de la identidad.

El proceso seguido por la explicación causal consiste pues en insertar las modificaciones reales en un conjunto de transformaciones operatorias posibles, de donde aquéllas extraen su inteligibilidad al convertirse en casos particulares. Este proceso no es privativo de la teoría de las formas de equilibrio. Se encuentra primero, se sobreentiende, en la explicación de todos los fenómenos llamados reversibles, puesto que no siendo nunca rigurosamente reversibles de hecho dichos fenómenos sólo son concebibles con referencia a la idea de equilibrio y por asimilación a las operaciones lógico-matemáticas reversibles. Pero hay más aún y (lo hemos comprobado constantemente) los propios fenómenos irreversibles, hasta aquellos que evocan con la mayor precisión —como el principio de Carnot Clausius— ese fluir de sentido único propio de la duración y de la dimensión temporal de la causalidad (anterioridad de la causa con relación al efecto), sólo se vuelven inteligibles en virtud de una asimilación semejante a las operaciones reversibles: la propia explicación probabilística consiste, en efecto, en insertar lo real observado en lo posible construido, y el concepto de la probabilidad como tal se define precisamente por esa relación entre lo real y lo posible. En todos los casos *la deducción causal equivale así a fusionar la modificación física con la transformación operatoria, por subordinación de lo real a lo posible, y a conferir a las generalizaciones de las relaciones legales reales un carácter de necesidad o de probabilidad en función de esa misma subordinación.*

Pero semejante proyección de las operaciones en lo real lleva entonces a un problema de primera importancia: el del tipo de realidad que postula el pensamiento físico. Aunque las transformaciones de lo real se reduzcan, a medida que son explicadas, a operaciones compuestas (como los trabajos de la balanza asimilados a desplazamientos que se anulan), no se trata por cierto, al menos en el momento de partida de la investigación del físico, de esa "objetividad intrínseca" que caracteriza la realidad matemática a la vez ideal e independiente del antojo individual. El solo hecho de que la causalidad física consiste en atribuir las operaciones a la realidad muestra que el físico cree en una realidad exterior a él. Sobre ese punto todos están de acuerdo, desde los antirrealistas, es decir, los adversarios de cualquier ontología (como Frank), que hablan simplemente de "proposiciones-comprobaciones" o de datos experimentales, hasta la ontología intencionalmente forzada en la que se basa Meyerson. ¿Pero en qué consiste esa realidad exterior?

Resulta interesante señalar que las respuestas de los físicos (y haciendo abstracción de su filosofía personal, es decir, de las declaraciones demasiado sistemáticas, en oposición a las actitudes implícitas) dependen en buena parte de la escala de los fenómenos con la que éstos trabajan; en otras palabras, de la escala de las acciones experimentales que es posible ejercer sobre dicha realidad. Así resulta que los químicos son esencialmente realistas

y no es de extrañar que la formación de químico que recibió E. Meyerson lo haya llevado a una actitud ontológica tan definida. Pero el relativista que especula sobre los universos y el microfísico que se enfrenta en la otra dirección con las fronteras de la acción posible son mucho más idealistas: de Eddington a Heisenberg el realismo sufre retoques peligrosos. Asimismo la teoría de los principios generales de la física muestra una oscilación del mismo género: cuando un principio como el de la conservación o el de la degradación de la energía se aplica a un sistema cerrado, nadie duda de su correspondencia exacta con realidades exteriores bien caracterizadas, mientras que cuando se trata del conjunto del universo esos principios conducen a una interpretación idealista desde el convencionalismo de Poincaré o el nominalismo tautológico de Frank hasta la prudente flexibilidad de Brunschvicg.

Es imposible, pues, extender toda la realidad física en un mismo y único plano, y la cuestión, planteada en bloque, sobre su coeficiente de exterioridad con respecto al sujeto "carece de significación", como dicen los vieneses, es decir, de hecho carace de significación efectiva. Tanto más interesante resulta tratar de desentrañar los procesos de evolución que caracterizan la historia de la realidad, atribuida por los físicos a los hechos sobre los cuales se han basado o se basan actualmente sus experimentos. Esos procesos son los mismos que nos muestra el desarrollo de la causalidad, lo que resulta natural puesto que la causalidad es una organización de la experiencia; traducido empero en términos de modalidad de existencia ese desarrollo se presenta bajo una luz paradójica: cuanto más objetivado es lo real tanto más solidario es con las operaciones del sujeto.

El primero de esos procesos consiste en una descentración progresiva de lo real con respecto al yo que percibe o a la acción inmediata y utilitaria. En este sentido Planck, Meyerson y los realistas tienen todas las ventajas de su lado al mostrar cómo se aleja cada vez más la física del "antropomorfismo", es decir, de la cualidad sensible o de los esquemas egocéntricos tomados de la acción humana. Pero si lo real se aparta cada vez más del sujeto en cuanto yo individual, o del sociocentrismo, sufre por este hecho mismo una transposición, correlativa con esa descentración, y que atestigua a su vez una actividad creciente del sujeto, pero orientada en sentido inverso por ser descentrada.

Esta transposición consiste primero en lo siguiente: cuanto más se afirma lo real en forma independiente del "yo", tanto más es reconstruida por composición operatoria. Frank, cuya prudencia hemos visto en lo que se refiere al pasaje de lo "aparente" a lo "verdadero", invocado tan a menudo, sostiene que tal proceso sólo podría presentar un sentido o más bien dos significaciones indisociables: análisis experimental y esquematización matemática más acentuados, porque la construcción del esquema lógico-matemático es la condición propiamente dicha para una observación más precisa. En otras palabras, alcanzar lo real más allá del fenomenismo de los datos inmediatos implica sobrepasar lo real en el sentido estricto, para incursionar en la dirección de una especie de metarrealidad que es al mismo tiempo un producto de operaciones y una fuente de verificaciones

experimentales. Cuanto más se aleja la realidad del yo sensible, tanto más depende del sujeto como operador.

Ahora bien, esta paradoja según la cual la realidad más desprendida del yo es al mismo tiempo la mejor asimilada a las operaciones del pensamiento, se convierte en una trivialidad en cuanto se admite que esas operaciones tienen como propiedad esencial la de alcanzar todo lo posible partiendo de lo real: lo real "verdadero" es aquello que sitúa lo dado en el conjunto de las posibilidades realizables, pero no realizadas simultáneamente, mientras que lo "aparente" se reduce a la realidad efectiva sola, en oposición a lo posible. En ese sentido el ahondamiento o la objetivación de lo real transforman necesariamente su modalidad, puesto que la elaboración del vínculo causal sustituye la realidad simple por la necesidad que vincula las posibilidades entre sí, cuya realidad en el sentido estricto no constituye sino una "sección". Semejante realidad extendida hasta sumergirse en lo posible ¿será entonces exterior o interior al sujeto? Ambas cosas, seguramente, puesto que el sujeto no crea los posibles; pero aunque no los engendre, sólo alcanza la necesidad que caracteriza los vínculos de aquéllos por la actividad operatoria únicamente.

La causalidad física establece así una conexión indisociable entre las operaciones cuya sede es el sujeto en su actividad deductiva, y las modificaciones del objeto asimiladas a dichas operaciones, que por este mero hecho se convierten en un simple sector de las transformaciones posibles cuyo cálculo determina el hecho efectivo. En el dominio de los objetos considerados en nuestra escala, esta distinción entre lo posible y lo real resulta fácil a grandes rasgos y autoriza así una distribución global de las relaciones entre la realidad física y la operación matemática. Por el contrario, en las escalas caracterizadas por el límite de la acción humana, la oposición entre lo real y lo posible se esfuma cada vez más en una región mixta que es la de lo probable, en grados diversos, y las operaciones asignadas al objeto ya no se pueden discernir de las que el sujeto emplea para obrar —experimental o deductivamente— sobre los objetos. La realidad física tiende entonces a idealizarse. Que no lo haga nunca definitivamente, ni siquiera en microfísica, es un hecho que la meditación sobre los usos técnicos de la desintegración atómica bastaría para demostrar. Pero el margen común entre el sujeto y el objeto tiende sin embargo a aumentar sin que entremos a prejuzgar sobre las tendencias futuras.

En resumen, la realidad postulada por la ciencia física presenta toda la gama de los matices que corresponden, según los casos, a un franco realismo o a un idealismo encauzado en la dirección de la simple objetividad intrínseca, propia de la matemática. El pensamiento físico prolonga así directamente el pensamiento matemático en su esfuerzo de asimilación de la experiencia a las operaciones del sujeto, pero, como el conocimiento de la realidad sigue referido a las acciones especializadas del sujeto, el pensamiento físico jamás es reducible enteramente a las coordinaciones generales de la acción.